ISSN 0366-0907

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

БЮЛЛЕТЕНЬ КОМИССИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ЧЕТВЕРТИЧНОГО ПЕРИОДА

№ 81

ГЕОС

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
КОМИССИЯ ОНЗ РАН ПО ИЗУЧЕНИЮ
ЧЕТВЕРТИЧНОГО ПЕРИОДА
ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ РАН

RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES
COMMISSION FOR STUDY
OF THE QUATERNARY
GEOLOGICAL INSTITUTE RAS

ГЕОС

BULLETIN
OF THE COMMISSION
FOR STUDY
OF THE
QUATERNARY

№ 81

Bulletin was founded in 1929

Editorial Board:
doctor of geological and mineralogical sciences
YU.A. LAVRUSHIN (editor-in-chief)
candidate of geological and mineralogical sciences
A.N. SIMAKOVA

MOSCOW
GEOS
2023

БЮЛЛЕТЕНЬ КОМИССИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ЧЕТВЕРТИЧНОГО ПЕРИОДА

№ 81

Бюллетень основан в 1929 г.

Ответственные редакторы:
доктор геолого-минералогических наук
Ю.А. ЛАВРУШИН (главный редактор)
кандидат геолого-минералогических наук
А.Н. СИМАКОВА

МОСКВА
ГЕОС
2023

УДК 551.7/8
ББК 26.323
Б 98

Бюллетень Комиссии по изучению четвертичного периода № 81. – М.: ГЕОС, 2023. – 62 с.
ISSN 0366-0907

В данном номере Бюллетеня содержатся новые материалы по глобальным проблемам изучения четвертичного периода и отдельным региональным вопросам. Новые идеи, изложенные в ряде работ могут представлять интерес для дальнейшего развития фундаментальных проблем квартера в XXI веке.

Для геологов, палеонтологов, палеогеографов, археологов и других специалистов, изучающих проблемы четвертичного периода.

Редакционная коллегия:
Ю.А. Лаврушин (главный редактор), А.В. Панин, А.С. Застрожнов
В.С.Зыкин, А.Н. Симакова, И.П. Второв

Рецензенты
доктор геол.-мин. наук Л.Н. Андреичева, доктор геогр. наук А.В. Панин
доктор геол.-мин. наук Ю.А. Лаврушин

Bulletin of the Commission for study of the Quaternary № 81. – M.: GEOS, 2023. – 62 p.
ISBN 0366-0907

The suggested issue of the Bulletin includes new data in global Quaternary problems and some regional evidence. The presented new ideas may be of interest for subsequent development of fundamental problems of Quaternary in the XXI st century.

The issue is addressed to geologists, paleontologists, archaeologists and other specialists interested in of Quaternary.

Editorial board:
Yu.A. Lavrushin (Editor-in-chief), A.V. Panin, A.S. Zastrozhnov
V.S.Zikin, A.N. Simakova, I.P. Vtorov

Reviewers:
Doctor of Geology and Mineralogy L.N. Andreicheva, Doctor of Geography A.V. Panin
Doctor of Geology and Mineralogy Yu.A. Lavrushin

© Российская Академия наук, 2023
© ГЕОС, 2023

БЮЛЛЕТЕНЬ КОМИССИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ЧЕТВЕРТИЧНОГО ПЕРИОДА
№ 81, 2023 г.

ГАЗОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КВАРТЕРА НА КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ ОКРАИНАХ

В.А. Друщиц

Геологический институт РАН, г. Москва,
e-mail: vdruschits@yandex.ru

DOI: 10.34756/GEOS.2024.17.38810

Рассмотрено распространение газовых месторождений квартера на континентальных окраинах. Наиболее известные газовые месторождения приурочены к областям развития соляной тектоники и подводных конусов выноса крупных рек (р. Миссисипи, р. Нил). Коллекторы формируются турбидитовыми потоками. Ледники на прилегающих шельфах образуют резервуары в период отступания, которые затем бронируются ледниковыми и ледниково-морскими отложениями (моря Северное и Норвежское). Четвертичные газовые месторождения объединяет принадлежность к геодинамически активным зонам.

Ключевые слова. Газовые месторождения, квартер, континентальная окраина, соляная тектоника, глубоководные конусы выноса, геодинамика.

Введение

Полезные ископаемые четвертичного периода обычно ассоциируются с россыпными месторождениями и строительными материалами. Отдельно можно выделить залежи торфа. В озерах формируются залежи сапропеля, диатомиты, скопления озерных руд, соли, лечебные грязи. В последнее время в морях и океанах обнаружены и готовятся к разработке массивы различного вида конкреций, гидротермальные металлоносные образования, скопления фосфоритов и глауконита.

Успешная эксплуатация морских месторождений углеводородов усилила интерес к изысканиями на акваториях. Результатом исследований последних лет стало открытие четвертичных месторождений углеводородов на континентальных окраинах в различных частях планеты [Забанбарк, Лобковский, 2022; Bellwald et al., 2022; Друщиц, 2023; Друщиц, 2023а]. Естественно, залежи углеводородов квартера располагаются в верхней части осадочного чехла, и территориально приурочены к хорошо изученным нефтегазовым бассейнам.

В последнее время на континентальных окраинах обнаружено множество скоплений природного газа в верхней части осадочной толщи (на глубинах ≤1 км). Такие образования мобильны, могут исчезать и формироваться заново. Газ в них обычно биогенный, но встречаются залежи с примесью газа термогенного происхождения (если есть связь с более древними месторождениями или с системой глубинных разломов). Газосодержащие осадки имеют различный возраст, зависящий от геологического развития региона в позднем кайнозое. На шельфе Дании скопления биогенного газа обнаружены в плиоценовых и четвертичных осадках [Богоявленский, 2023; Bruin et al., 2021].

Поиск четвертичных месторождений проводился по известным крупным нефтегазовым бассейнам, где существует плотная сеть геофизических профилей и разведочных скважин. По этим данным доказывается наличие плейстоценовых коллекторов, даже если они не имеют промышленного значения. Часто газ мелких скоплений используется для снабжения ближних разработок крупных залежей. Скопления природного газа на глубинах ≤1000 м имеют широкое распространение. В нефтегазоносных бассейнах, расположенных на континентальных окраинах, месторождения квартера известны на шельфе и континентальном склоне и его подножии Мексиканского залива (дельта Миссисипи и подводный конус выноса), на континентальном склоне Восточного Средиземноморья (глубоководный конус выноса р. Нил), на

шельфе северной части Адриатического моря и на шельфе Северного моря, и на шельфе и в верхней части континентального склона Норвежского моря. Там они успешно разрабатываются. Распределение потоков осадочного материала в течение четвертичного периода имело циклический характер. На ледниковых континентальных окраинах, естественно, осадкообразование непосредственно определялось сменой стадий ледниковье – межледниковье. Для внеледниковых, северных, континентальных окраин ледниковые процессы оказывали косвенное влияние на седиментационные процессы в периоды криохронов и термохронов, в южных регионах – в течение чередования плювиальных и аридных эпох.

Следует отметить, что в морях и океанах приповерхностный природный газ может удерживаться в осадках двумя способами: плотной ненарушенной толщей отложений (покрышкой), или горизонтом гидратов природного газа. Система свободный газ – гидрат газа очень мобильна и способна меняться, вплоть до исчезновения, при колебаниях уровня моря, при климатических флуктуациях, при геодинамических воздействиях (особенно при землетрясениях).

Существуют определенные трудности при определении возраста месторождения. Не все исследователи месторождений углеводородов придерживаются современной стратиграфии четвертичного периода, для некоторых гелазий остался в плиоцене. При известных значениях абсолютного возраста отложений или выделении в изучаемой толще осадков гелазия определение возраста месторождений и отнесение их к четвертичным становится возможным.

Каждый нефтегазовый бассейн, содержащий четвертичные газовые месторождения, можно охарактеризовать с позиций ведущего процесса, ответственного за формирование этих залежей.

Цель данной работы показать при каких условиях формируются четвертичные месторождения углеводородов на континентальных окраинах и какие явления могут провоцировать нарушения в коллекторах или деструкцию приповерхностных газовых скоплений.

Соляная тектоника и распространение скоплений природного газа и четвертичных газовых месторождений

В районах проявления соляно-тектонической активности на континентальных окраинах установлены нефтегазовые месторождения. В процессе миграции соли могут образовывать ловушки, покрышки и минибассейны. Месторождения более древние, чем четвертичные, связанные с соляной тектоникой, известны на восточной окраине Южной Америки (Бразилия, бассейны Сантос и Кампос), на континентальной окраине северо-запада Африки (Марокко), в Персидском заливе [Забанбарк, Лобковский, 2022; Geng et al., 2022; Uranga et al., 2022]. Влияние соляной тектоники на нефтегазоность отмечается в Тимано-Печорском бассейне, в Хатангском заливе (море Лаптевых), на шельфе Чукотского моря, в Свердрупском бассейне (континентальная окраина Канадского Арктического архипелага) [Шипилов, 2018; Скарятин и др., 2020; Соборнов, 2023].

Современная обстановка на континентальных окраинах (особенно на ледниковых) характеризуется интенсивной разгрузкой метана, которая в некоторых областях связана с соляной тектоникой. Далее приводятся примеры распространения формирования четвертичных газовых месторождений и разрушения приповерхностных скоплений природного газа в процессе миграции солей.

Континентальная окраина юга Северной Америки (Мексиканский залив)

Значительная часть месторождений углеводородов, открытых в Мексиканском заливе относятся к квартеру (рис. 1). Это могут быть залежи, как нефти, так и газа. Они успешно разрабатываются.

Геологические особенности. Мексиканский залив развивается как пассивная континентальная окраина в кайнозое. В центральной части залива – океаническая кора (впадина Сигсби). Происхождение залива вызвано дивергенцией Северо-Американской и Южно-Американской литосферных плит. В течение кайнозоя значительный речной сток распределяется на ограниченной площади залива, занимая и большие глубины. Большое влияние на строение континентальной окраины оказали события позднего миоцена. В это время падение уровня моря создало условия для выдвижения дельты р. Миссисипи и выноса ее аллювия к континентальному склону, в результате этого край шельфа переместился в сторону моря на 40–90 км, а на континентальном склоне отложилось 5000 м осадков [Galloway, 2008]. С плиоцена по настоящее время северная часть залива перемещается на запад северо-запад со скоростью 27 мм/год [Ruiz-Osorio, 2016].

Квартер. Регион характеризуется большими мощностями четвертичных отложений, образовавшихся за счет ледникового (Лаврентийский щит) и речного (система Миссисипи – Миссури, р. Колорадо, р. Бразос, р. Сабин, р. Тринити, р. Рио-Гранде) стока. За четвертичное время р. Миссисипи построила несколько подводных конусов выноса. Строение четвертичной осадочной толщи залива

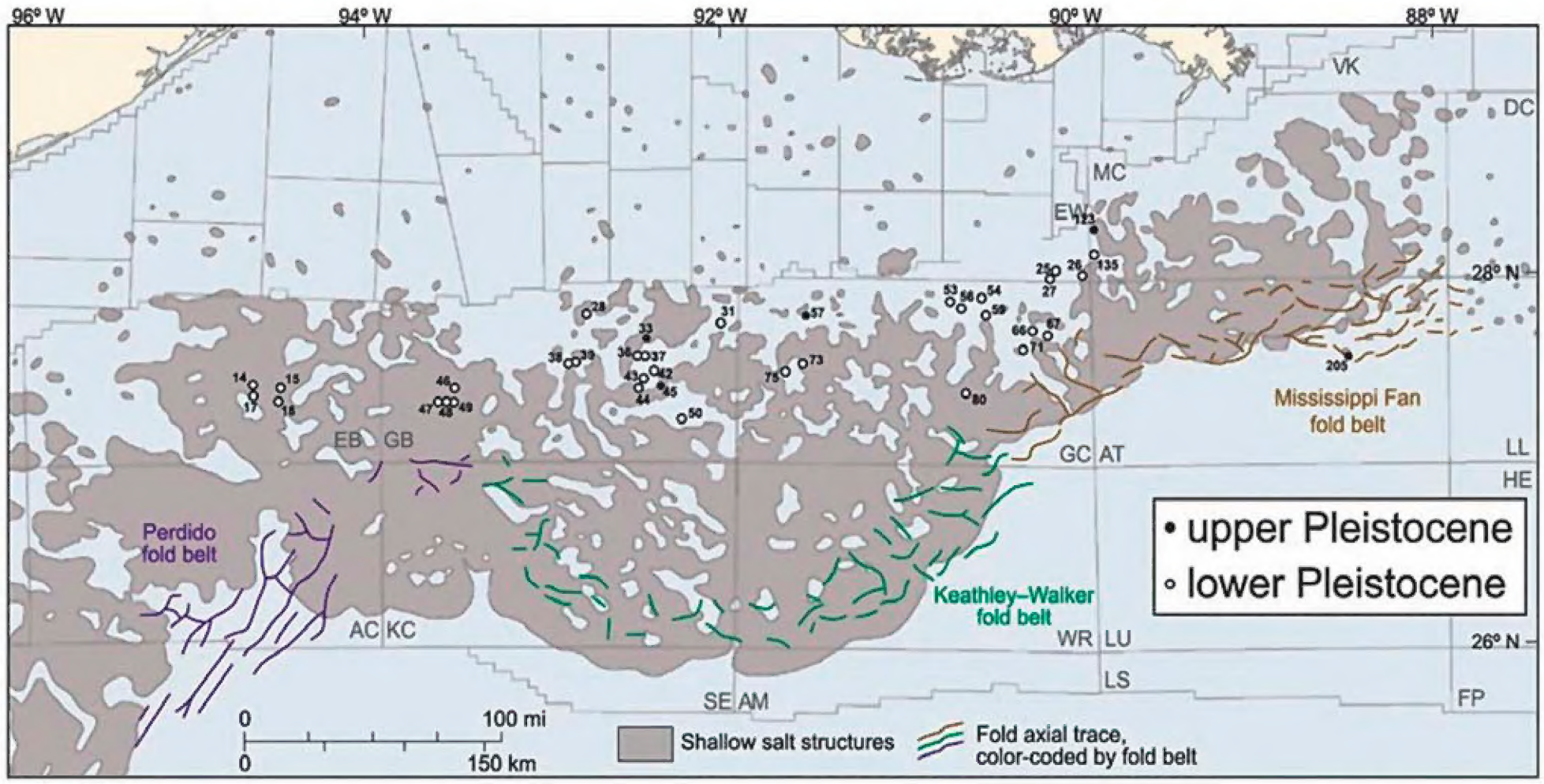


Рис. 1. Распространение четвертичных месторождений углеводородов в Мексиканском заливе [Weimer et al., 2017]

Fig. 1. Distribution of Quaternary hydrocarbon fields in the Gulf of Mexico [Weimer et al., 2017]

зависело от колебания уровня моря, связанного с ледниковыми циклами. Когда уровень моря падал, дельты выдвигались к краю шельфа. В это время за счет суспензионных потоков, которые могут наследовать палеодолины, зоны тектонических нарушений на шельфе и континентальном склоне формируются каньоны и каналы. Далее эти эрозионные формы заполняются осадками собственно мутьевых потоков, морскими отложениями, возможно также участие оползней, зерновых потоков. Этот процесс может иметь циклический характер.

Скорость опускания на внутреннем шельфе достигает 1 мм/год, а на внешнем – 4 мм/год. Скорость продвижения края шельфа в сторону моря оценивается в 30 км/млн л. в плиоцен-четвертичное время. Скорость осадконакопления в конусе выноса р. Миссисипи оценивается в 10 мм/год. Отмечается, что наибольшая интенсивность осадконакопления соответствует ледниковым стадиям [Левитан и др., 2021; Galloway, 2005].

Месторождения. Месторождения находятся на континентальном склоне и его подножии, между глубинами моря 305–2019 м. Ловушки имеют сложный генезис, который определяется взаимодействием соляной толщи, тектонических нарушений и литологии четвертичных отложений.

Большая часть ловушек создается около соляных куполов, часть имеет тектоническое происхождение (замыкается сбросами), реже встречаются в турбидитовых отложениях, заполняющие каналы конусов выноса. Мощность осадков квартера, в которых были открыты месторождения углеводородов, достигает 2000–3000 м. Природный газ имеет смешанный генезис (биогенный и термогенный). Обычно месторождения имеют небольшой размер, значительные скопления сосредоточены у самых крупных глубинных разломов [Забанбарк, Лобковский, 2022; Weimer et al., 2017].

Образование соляных минибассейнов относительно молодое событие. Так называемые первичные соляные бассейны образовались значительно раньше. Они ограничены различными соляными структурами и покрываются также соляной покрышкой и распространены в более древних толщах. Рост соляных диапиров продолжается в настоящее время, но он не превышает величину скорости осадконакопления. Бассейн покрывается чехлом морских отложений, отлагающихся в голоцене при высоком стоянии уровня моря.

Мощная толща (≥2000 м) эвапоритов (главным образом, соли), отложившаяся в среднеюрское время, мигрируя под давлением вышележащей осадочной толщи, создает минибассейны, которые заполняются четвертичными осадками. На рис. 2 представлен разрез минибассейна (длина 21 000 м, ширина 8000 м), образовавшегося в верхней части континентального склона, в конусе выноса р. Миссисипи [Wu et al., 2020]. Мощность осадков квартера в этом бассейне около 3500 м. В течение четвертичного периода конус выноса

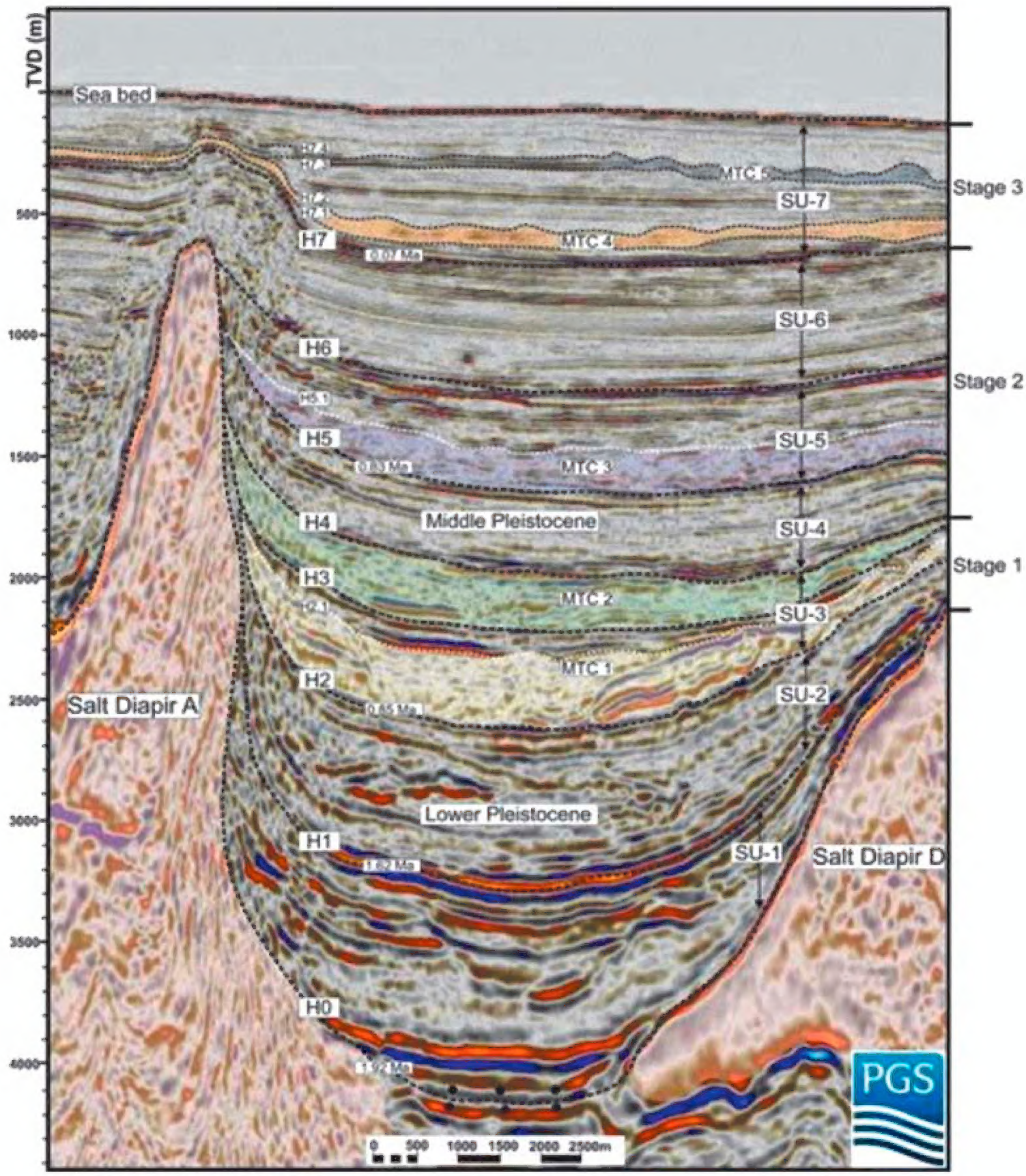


Рис. 2. Интерпретация сейсмического профиля склонового минибассейна, демонстрирующего соляную структуру, расположенную на континентальном склоне (глубина моря от 650 до 1100 м) [Wu et al., 2020]

Fig. 2. Interpretation of a seismic profile of a slope mini-basin showing a salt structure located on the continental slope (sea depth 650 to 1100 m) [Wu et al., 2020]

смещался к востоку. Наполнение минибассейна происходит путем различных видов перемещения осадков: потоки обломков (debris flow), зерновые потоки (grain flow), массовое смещение илов (mud flow), оползни и суспензионные потоки различной плотности. В основном бассейн заполнен чередованием толщ песчаников, алевролитов и аргиллитов. Зафиксированы фации подводных каналов и прирусловых валов подводных конусов выноса. Они сложены грубообломочным материалом и выделяются на сейсмическом разрезе как аномалия «яркого пятна». Бассейн развивается в зависимости от соотношения скорости движения диапира к скорости осадконакопления. В начальной стадии склоновые отложения деформируются диапирами, а затем наносы стекают по поверхности диапира в бассейн. Когда скорости осадконакопления превышают значения роста соляной структуры, бассейн покрывается почти недислоцированными отложениями.

По данным бурения и сейсмических исследований было выделено три стадии в формировании этого бассейна. Первая (ранний-средний плейстоцен) характеризуется скоростью осадконакопления 0,84 мм/год. В это время в основании бассейна накапливались обогащенные песком осадки, принесенные мутьевыми потоками. Вторая стадия (средний–поздний плейстоцен) выделяется по ско-

рости осадконакопления 1,18 мм/год, происходит отложение, главным образом, мелкообломочного материала. Третья стадия (поздний плейстоцен) отличается высокими скоростями осадконакопления (10 мм/год), главным образом, пелитового и глинистого материала. Такие скорости наблюдаются в областях лавинной седиментации. Коллекторы в большей степени образовались на первой стадии образования бассейна. Они представлены песчаниками каналов конуса выноса и прирусловых валов. В это время источник осадочного материала (р. Миссисипи) был ближе к минибассейну, чем в последующие стадии, когда дельта сместилась к востоку. Третья стадия развития минибассейна характеризуется преобладанием глинистого материала, который становится хорошей покрышкой.

Минибассейны, связанные с соляной тектоникой, распространены также в южной части Мексиканского залива, вдоль побережья Мексики (залив Кампече). Происхождение их в большей степени связано с заложением складчатых поясов в западной и центральной частях залива под влиянием движения Тихоокеанской плиты в среднем-позднем миоцене и с давлением мощного плиоцен-четвертичного осадочного чехла (рис. 3).

Минибассейн (Pedcadores) имеет длину 100 000 м и ширину 20 000 м. Он и другие минибассейны заполнялись отложениями мутьевых потоков. На рис. 3 показано, как миграция солей изменяет рельеф континентального склона, деформирует четвертичную толщу. Плиоценовая толща представлена чередованием сланцев и кварцевых песчаников, а четвертичная – чередованием сланцев, песчаников, конгломератов. Мощность четвертичных осадков в минибассейнах превышает 3000 м. Предполагается, что в отложениях квартера есть и перспективные резервуары, которые блокируются мелкообломочными гемипелагическими образованиями [Gomez-Cabrera, Jackson, 2009; Hasan et al., 2023].

Континентальная окраина Африки (восточная часть Средиземного моря)

Геология. Этот регион отличается сложной тектоникой, зависящей от движения плит и рифтообразования. Нефтегазовый бассейн, сформи-

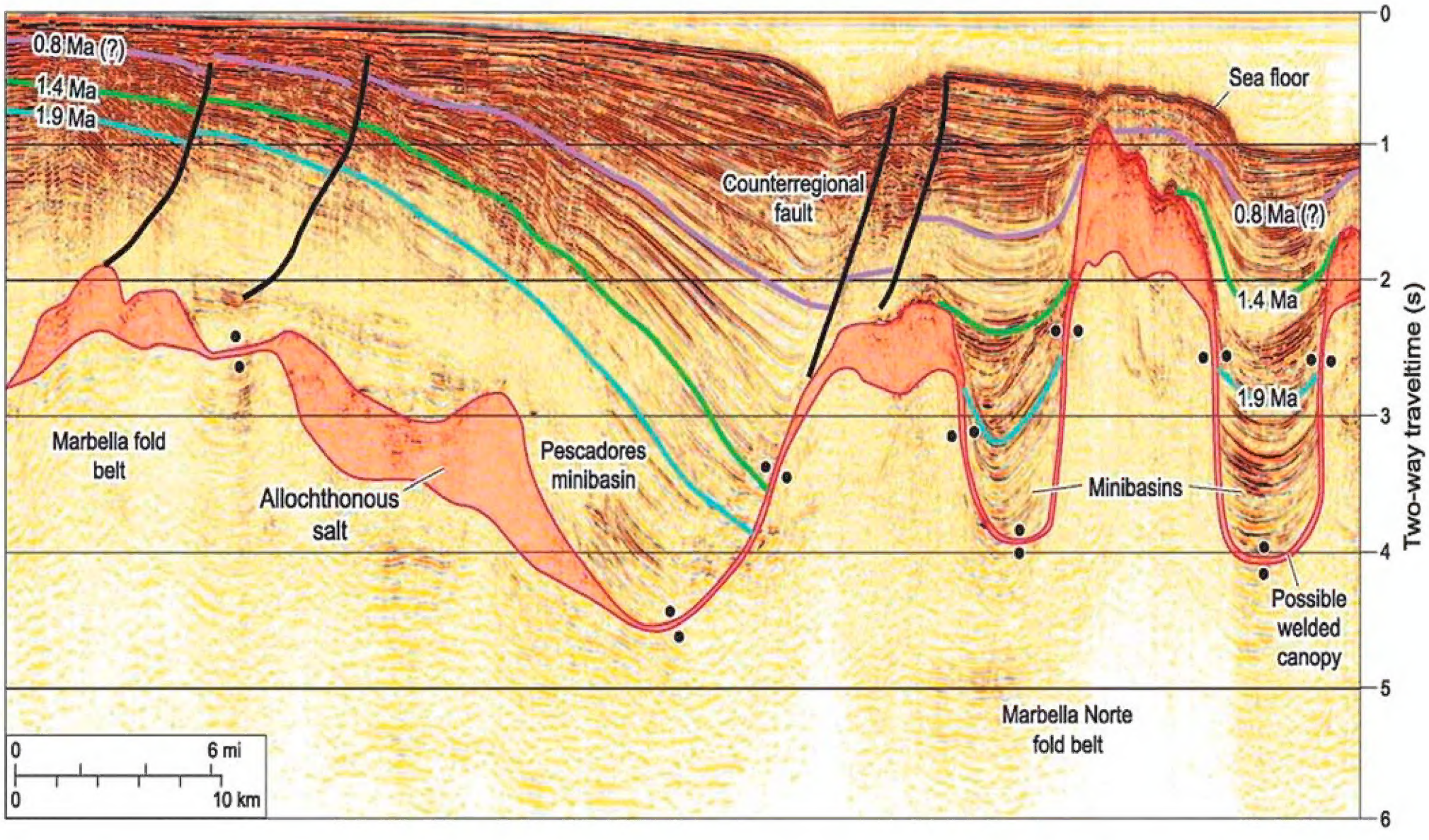


Рис. 3. Сейсмический профиль, расположенный в западной части залива Кампече. Показаны крупный минибассейн (Pescadores) и складчатый пояс (Marbella), определивший миграцию солей и конфигурацию бассейнов. Пары точек обозначают соляной натек [Gomez-Cabrera, Jackson, 2009]

Fig. 3. Seismic profile located in the western part of the Bay of Campeche. Shown are a large mini-basin (Pescadores) and a fold belt (Marbella), which determined the migration of salts and the configuration of the basins. Pairs of dots indicate salt canopy [Gomez-Cabrera, Jackson, 2009]

рованный глубоководным конусом выноса р. Нил, расположен в зоне субдукции Африканской плиты (пассивная континентальная окраина), которая двигается на север, к Евразии, со скоростью 30 мм/год. На западе бассейн окружен абиссальной равниной (бассейн Геродота), залегающей на океанической коре. Мощность плиоцен-четвертичных осадков 1000–4000 м. На севере он ограничен подводным Средиземноморским хребтом (аккреционным комплексом) и Кипрской островной дугой и желобом, и подводной горой Эратосфена (микроконтинент). На востоке находится бассейн Леванта. Здесь проявляется воздействие разломной зоны Мертвого моря. Юго-восточная часть находится под влиянием рифта Красного моря (рис. 4). Мощность плиоцен-четвертичных осадков 1000–2000 м. Конус выноса опускается под грузом накопленных осадков [Gaullier et al., 2000; Hamouda, El-Gharabawy, 2019].

Соляная тектоника. Большое влияние на осадкообразование оказал мессинский кризис. Уровень моря упал ≥1000 м. В это время начинают формироваться глубоководные конусы выноса р. Нил. Отлагается мощная толща мессинских солей (более 2000 м) [Ducassou et al., 2009]. Пластичные мессинские эвапориты деформируются вследствие влияния горизонтального движения Африканской плиты и давления плиоцен-четвертичного осадочного покрова (3500 м) (рис. 4). Под дельтой Нила и на шельфе эвапориты отсутствуют, так как они откладывались на больших глубинах в Мессинское время. Выделены 4 зоны в распространении солей [Allen et al., 2016]. Зона растяжения отличается развитием активных разломов, инициированных

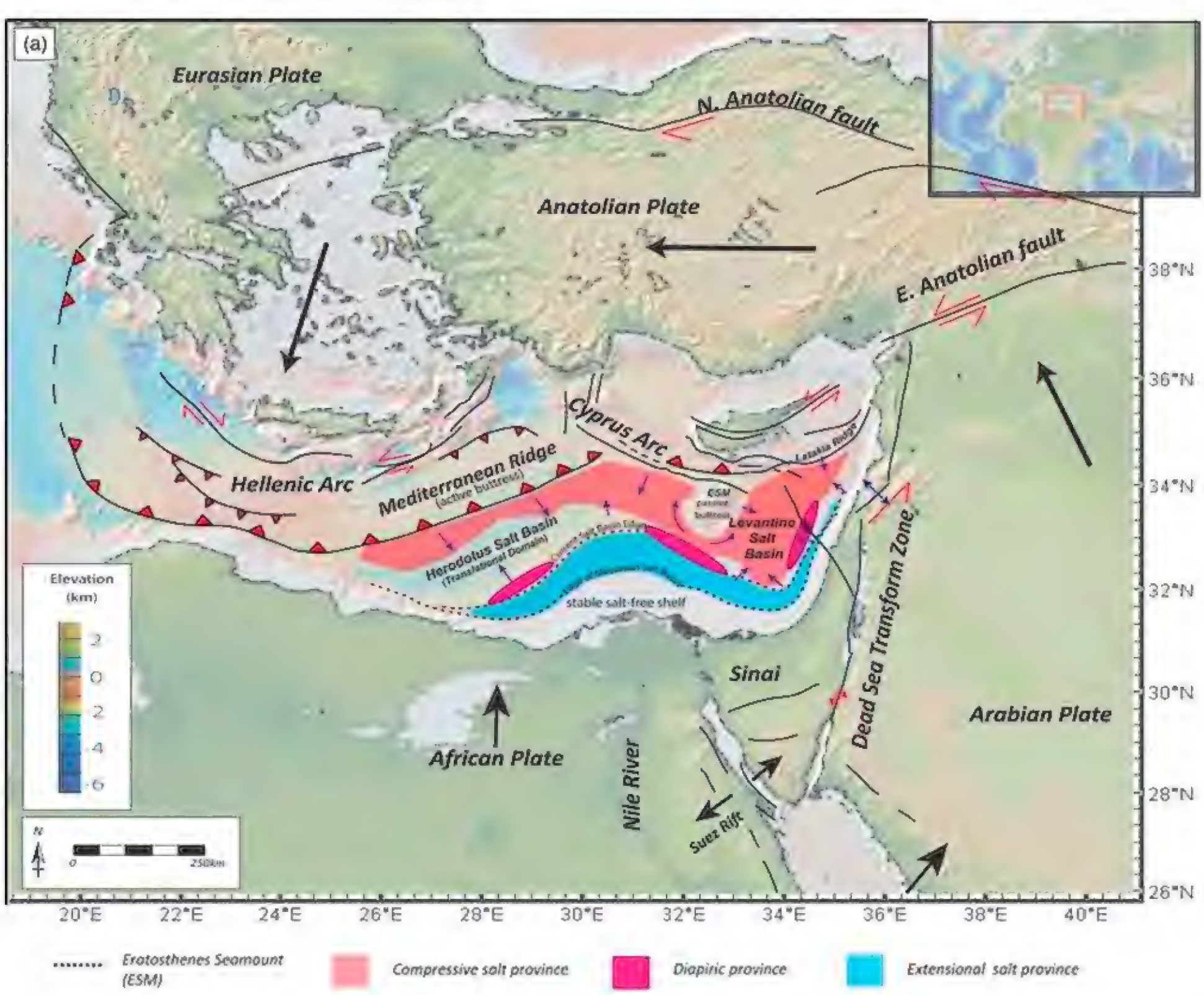


Рис. 4. Геодинамическая схема бассейна Восточного Средиземноморья и зональность распространения солей Мессиния [Allen et al., 2016, с изменениями]

Fig. 4. Geodynamic scheme of the Eastern Mediterranean basin and zonation of Messinian salt distribution [modified after Allen et al., 2016]

соляной тектоникой, небольшая часть которых в настоящий период стали пассивными. Зона распространения соляных диапиров, которая начала образовываться в плиоцене, формирует минибассейны. Зона поступательного движения (translation) характеризуется увеличением мощности солей вниз по склону, отсутствием деформаций в плиоцен-четвертичной толще, слабо развитой в бассейне Леванта. В зоне сжатия происходят значительные деформации солей и плиоцен-четвертичной толщи. В бассейне Геродота формируется складчатость под влиянием Средиземноморского хребта.

Установлено, что существует различие в деформации соляной толщи между западной и восточной частями глубоководного конуса выноса. В западной части, смежной с абиссальной равниной, происходит скольжение солей и покрывающего его плиоцен-четвертичного чехла по склону, сформированному до позднего миоцена. Соли выклиниваются в верхней части склона и накапливаются в глубокой части бассейна. В восточной части подводного конуса происходит аградация плиоцен-четвертичных осадков. В результате эвапориты мигрируют на северо-восток под давлением вышележащей толщи. При этом мощность терригенных осадков уменьшается с глубиной, а соли выклиниваются у подножия домессинского склона. Затем они в процессе миграции наращивают свою мощность и остаются крупным образованием в бассейне Леванта [Zucker et al., 2020].

Рассчитано, что последние 2–3 млн лет мессинские соли перемещаются в северо-западном направлении, со скоростью 2 мм/год и могут оказывать влияние на динамику углеводородов, создавать минибассейны [Gaullier et al., 2000; Kirkham, Cartwright, 2022]. Соляные минибассейны формируются в северной части глубоководного конуса выноса, где он ограничивается подводной горой Эратосфена (рис. 5).

Месторождения. Таким образом, залежи природного газа, образованные вследствие миграции солей, могут располагаться в зонах распространения соляных диапиров и в зонах (сжатия) значительных деформаций. Наибольшая вероятность формирова-

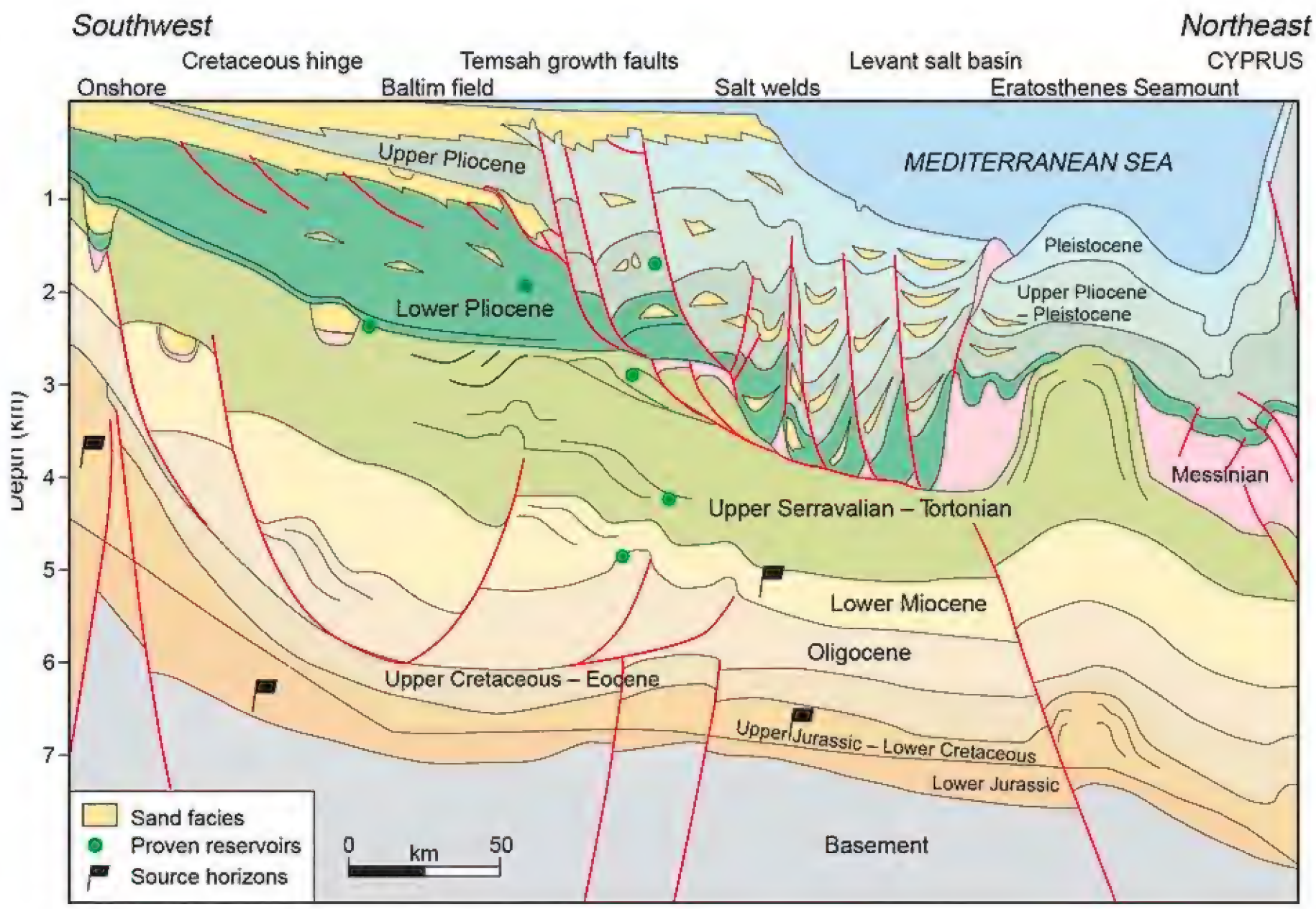


Рис. 5. Геологический разрез континентальной окраины северо-востока Африки (дельта и глубоководный конус выноса р. Нил). Показано образование минибассейнов соляными структурами, возможные резервуары (пески), материнские горизонты. Зеленые точки – доказанные резервуары [Dolson et al., 2000]

Fig. 5. Geological section of the continental margin of northeast Africa (delta and deep-sea fan of the Nile River). The formation of mini-basins by salt structures, possible reservoirs (sands), and source horizons are shown. Green dots are proven reservoirs [Dolson et al., 2000]

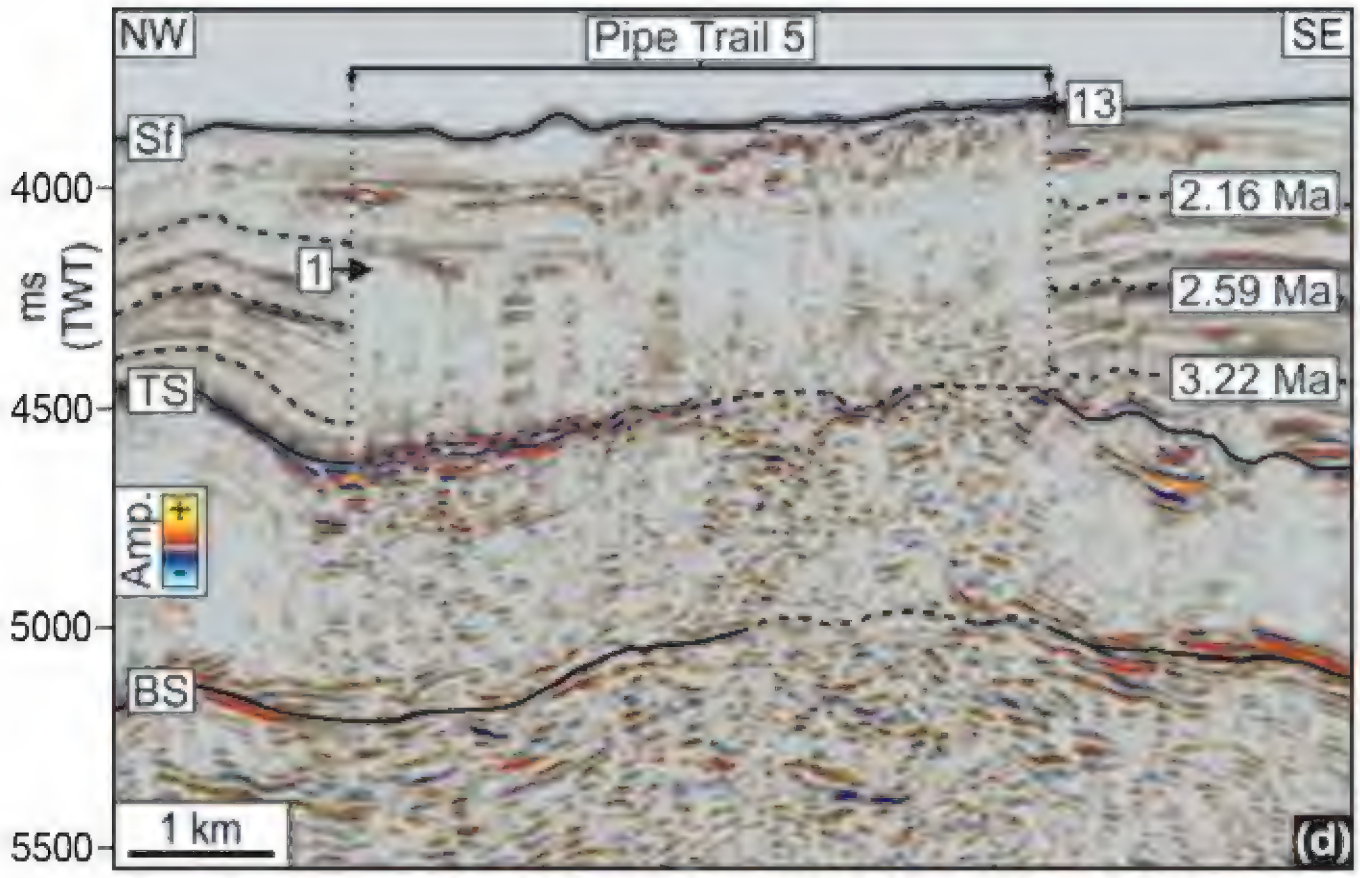


Рис. 6. Сейсмический разрез в западной части глубоководного конуса выноса. Показаны нарушения в подошве (BS) и в кровле (TS) мессинских солей. В зоне «трубы» меняется структура осадков, что выражается в сейсмической записи. Газ выходит на поверхность морского дна, изменяя рельеф [Kirkham, Cartwright, 2022]

Fig. 6. Seismic section in the western part of the deep-sea fan. Disturbances in the base (BS) and top (TS) of the Messinian salts are shown. In the "pipe" zone, the structure of sediments changes, which is expressed in the seismic record. Gas comes to the surface of the seabed, changing the topography [Kirkham, Cartwright, 2022]

ния и плиоценовых, и четвертичных газовых месторождений существует в части конуса выноса, смежной с подводной горой Эратосфена (рис. 5).

В этой части подводного конуса выноса миграция солей Мессиния деформировала вышележащую толщу, создала серию минибассейнов, где происходит разрушение коллекторов. Этот процесс, практически не затронул, отложения плейстоценового возраста. Также сохраняется часть коллекторов плиоценового возраста. В целом эта зона рассматривается как потенциально перспективная относительно аккумуляции природного газа [Dolson et al., 2000].

Также в результате соляной динамики активизируется миграция природного газа, которая создает так называемые «газовые трубы». Этот процесс провоцирует изменение структуры вышележащих осадков, что может приводить к разрушению скоплений природного газа, образованию воронок взрывов, пингоподобных структур, развитию грязевых вулканов (рис. 6).

Влияние соляной тектоники на разрушение крупных скоплений природного газа Континентальной окраины северо-запада Европы (Баренцево и Северное моря)

Геология. Континентальная окраина северо-западной части Европы находится под влиянием рифтовой зоны Северной Атлантики, отличается высокой сейсмичностью. В кайнозое западная часть Баренцева моря испытывала поднятие, что вызвало интенсивную эрозию, значение которой изменялось в пределах от 850–1370 м, а в четвертичное время, за более короткий срок, вынос отложений составил 940–1180 м. Эти процессы определили крупную перестройку нефтегазовой системы данного региона. Вследствие этого произошли существенные нарушения в архитектуре осадочных бассейнов, в кровле нефтегазовых месторождений реактивировались соляно-тектонические дислокации. Мезозойские и кайнозойские месторождения углеводородов оказались ближе к поверхности дна, могли служить источником газа для вышележащих отложений. В нефтегазовых месторождениях изменялись уклоны, происходило перераспределение углеводородов в коллекторе, нарушалась покрышка, что приводило к их миграции в вышележащие горизонты осадков и далее к поверхности морского дна с образованием воронок газового выброса (покмарков) или эмиссии в виде факелов (рис. 7). Эти явления прямым или косвенным образом связаны с соляной тектоникой. Этот регион известен распространением соляной толщи пермского возраста.

Скопления природного газа. В квартере этот регион был захвачен ледниками. Давление ледового покрова стало доминирующим фактором, определяющим миграцию эвапоритов (возраст – поздняя пермь). Активность движения солей увеличивалась в начале гелазия, и продолжалась позднее [Harding, Huuse, 2015]. Наиболее ярко динамика природного газа проявляется на шельфе Северного моря, где открыто множество нефтяных и газовых месторождений.

В Центральном грабене обнаружено два газовых скопления в интервалах от поверхности дна: первое – 850–1100 м, второе – 450–750 м, которые связаны с миграцией газовых флюидов вдоль соляных куполов. Мощность квартера изменяется от 500 м до ≥1000 м. Эти образования сформировались в гелазии [Kuhlmann, Wong, 2008].

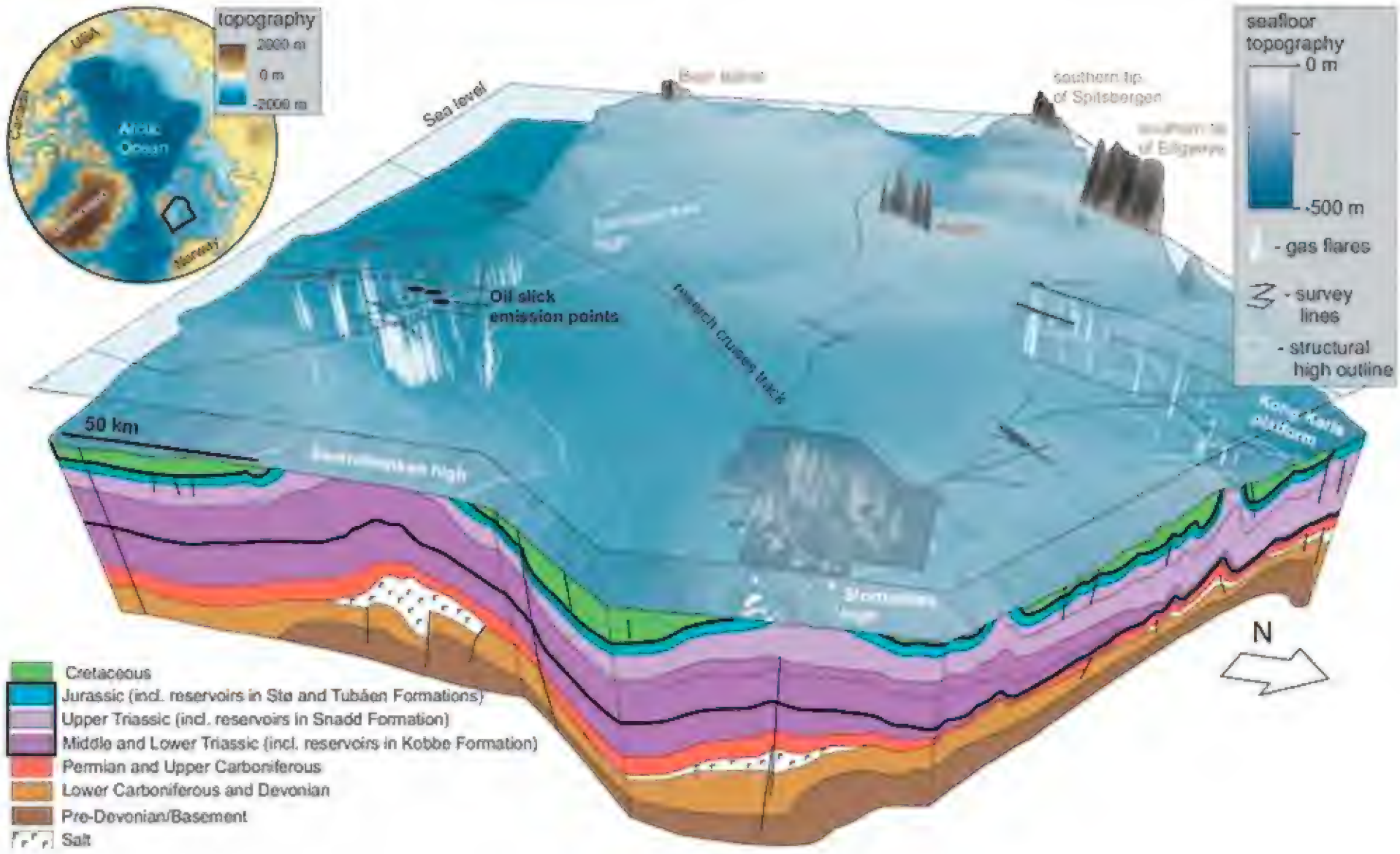


Рис. 7. Эксгумированные содержащие углеводороды структуры в западной части Баренцева моря, выбрасывающие газ (факелы) и нефть (пленки) в толщу воды. Показано, что наибольший подъем и эрозия, и интенсивная эмиссия природного газа относится к зонам залегания солей позднепермского возраста. Яркими черными линиями выделены триасовые и юрские толщи, содержащие коллекторы углеводородов [Serov et al., 2023]

Fig. 7. Exhumed hydrocarbon-bearing structures in the western part of the Barents Sea, emitting gas (flares) and oil (sliks) into the water column. It has been shown that the greatest uplift and erosion, and intense emission of natural gas relate to the zones of Late Permian salt occurrence. Bright black lines highlight Triassic and Jurassic hydrocarbon reservoir-bearing strata [Serov et al., 2023]

Наличие газонасыщенных отложений определяется по аномалиям «яркое пятно» на сейсмическом профиле. Показана миграция газа из глубоких горизонтов по тектоническим нарушениям, образование которых связано подъемом соленого диапира (поздняя пермь) (рис. 8). Такая ситуация генерирует, так называемую, «газовую трубу». При этом скопление, расположенное в правой стороне рисунка, вероятно, представляет собой залежь автохтонного биогенного газа в четвертичных отложениях. Источником газа может быть древняя дельтовая система (Eridanos, поздний кайнозой, включая ранний квартер), которая дренировала северо-западную Европу и выносила наносы в Северное море. Позднее (≤1 млн лет) вследствие изменения дренажной системы Западной Европы, ведущую роль в осадкообразовании начинают играть ледниковая цикличность. Осадочный материал откладывается, как и при наступании ледника, так и при его таянии [Cohen et al., 2014].

В юго-восточной части Северного моря, на глубинах 30–50 м, интенсивная эмиссия метана в виде факелов концентрируется около соляных диапиров (рис. 9). На основании данных сейсмического профилирования было установлено, что наибольшее количество факелов находится вокруг диапиров Берта (104) и Белла (19). Вершина диапира Берта находится на глубине около 2000 м под поверхностью дна моря. Газ мигрирует по тектоническим нарушениям, окружающим диапир, по литологическим ослабленным зонам («газовым трубам») над диапиром. Приповерхностные скопления газа концентрируются между глубинами 300-800 м от поверхности морского дна [Römer et al., 2021].

Из вышеизложенного материала следует, что соли различного возраста (от поздней перми до позднего миоцена) участвуют в образовании скоплений и четвертичных газовых месторождений природного газа. Залежи располагаются на континентальном склоне и его подножии, и на шельфе.

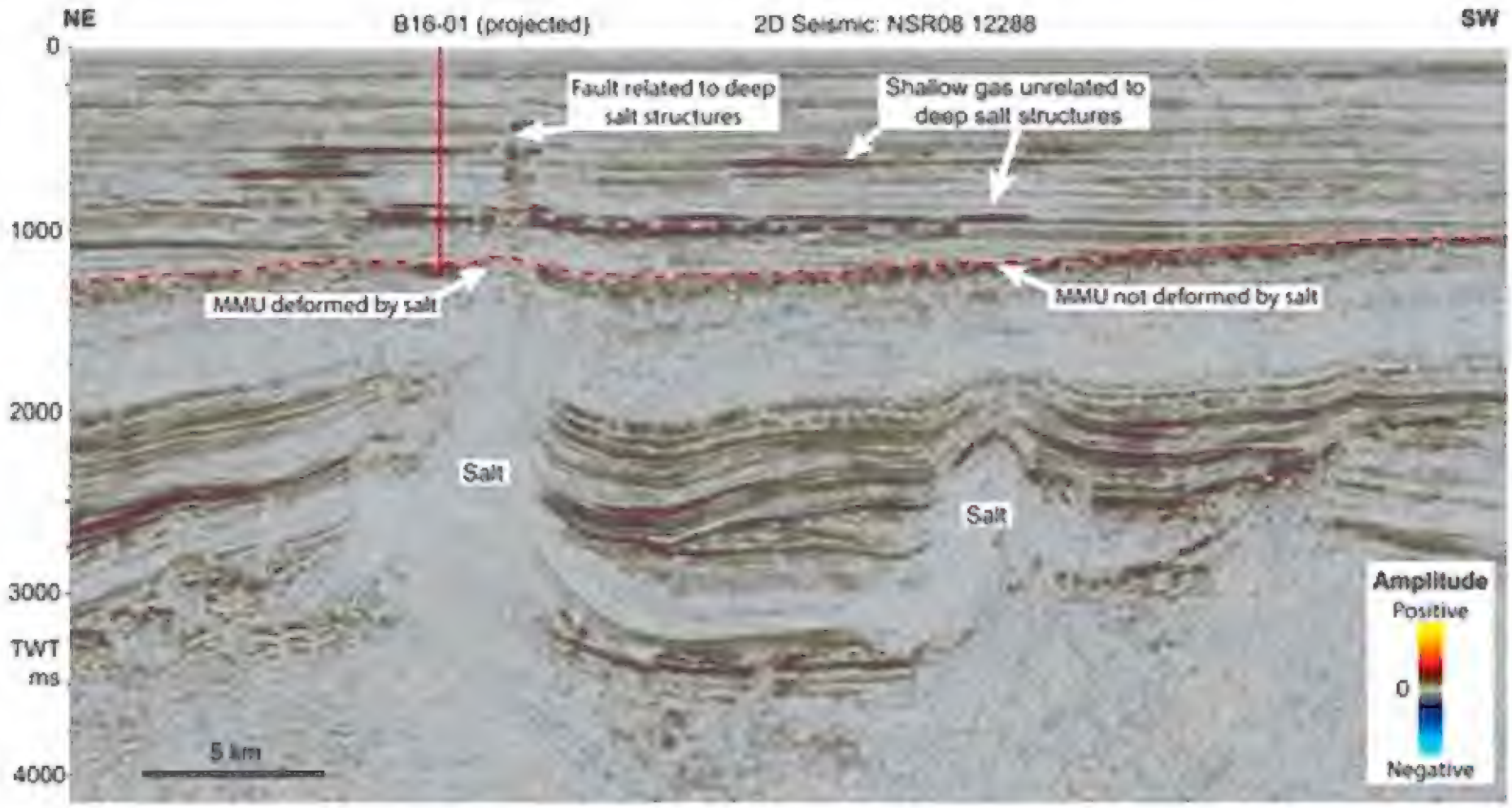


Рис. 8. Интерпретация сейсмического профиля с определением газонасыщенных приповерхностных образований, связанных и несвязанных с соляной тектоникой [Bruin et al., 2021]. MMU – среднемиоценовое несогласие (глубина от поверхности морского дна около 1191 м)

Fig. 8. Seismic profile interpretation identifying gas-saturated near-surface formations associated and unrelated to salt tectonics [Bruin et al., 2021]. MMU – Middle Miocene unconformity (depth from the seafloor surface about 1191 m)

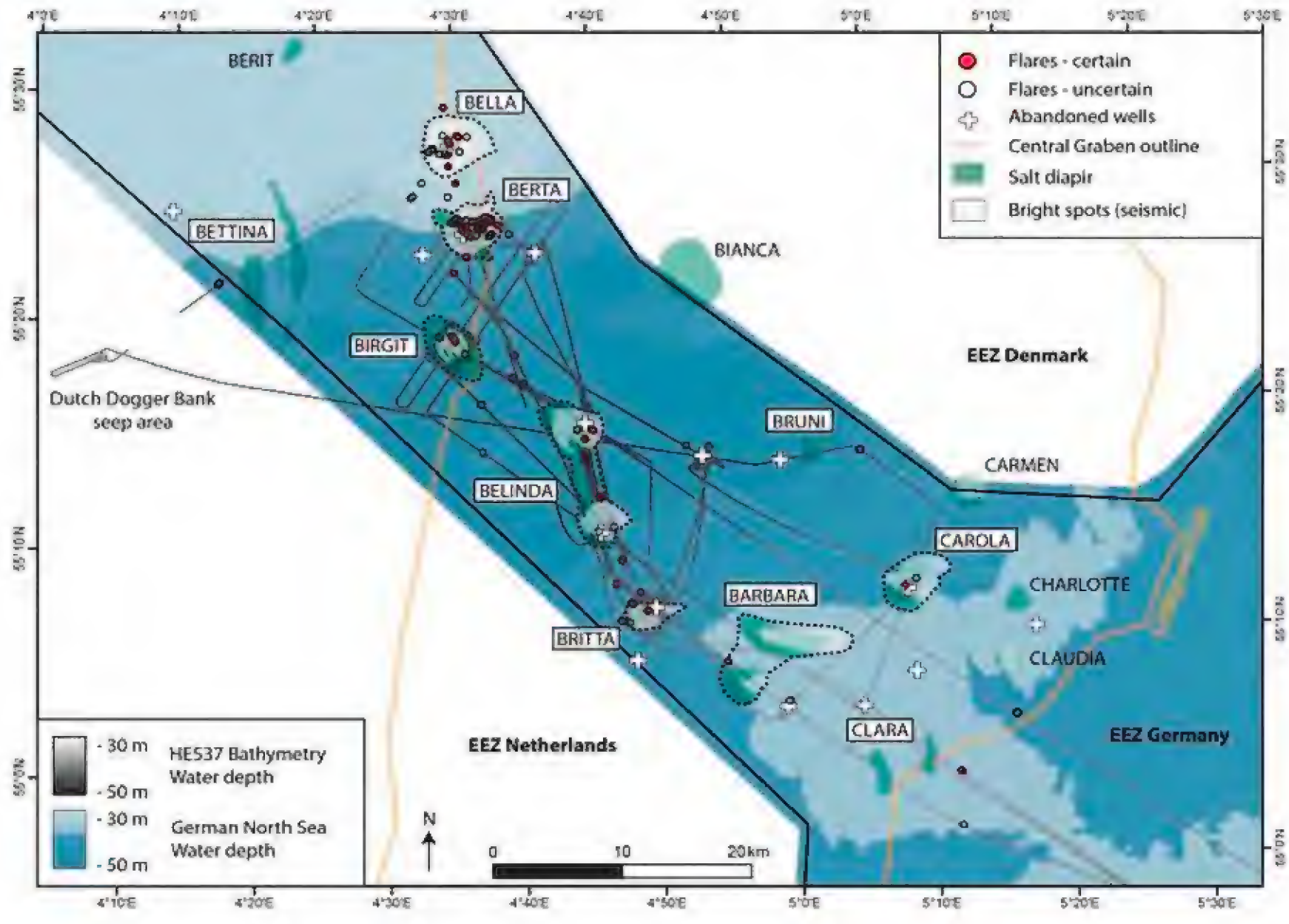


Рис. 9. Распространение газовых факелов и соляных диапиров в юго-восточной части Северного моря [Römer et al., 2021]

Fig. 9. Distribution of gas flares and salt diapirs in the south-eastern North Sea [Römer et al., 2021]

Коллекторы представлены отложениями мутьевых и ледниковых потоков. Миграция солей может формировать минибассейны с месторождениями, так и приводить к разрушению скоплений. Все континентальные окраины, где залежи и проявления углеводородов ограничиваются соляными структурами, отличаются активной геодинамикой.

Подводные конусы выноса крупных рек, дренирующих платформенные геоструктуры и распространение четвертичных газовых месторождений и скоплений природного газа

Месторождения северо-восточной континентальной окраины Африки (восточная часть Средиземного моря, глубоководный конус выноса р. Нил)

Дельты крупных рек и их подводные конусы выноса представляют собой нефтегазовые бассейны. Дельты рек Амазонки, Волги, Ганга и Брахмапутры, Маккензи, Нигера известны своей нефтегазоносностью. Они также имеют продолжение на шельфе и континентальном склоне. Если на шельфе уже ведутся геологоразведочные и эксплуатационные работы, то подводные конусы выноса обычно находятся в стадии изыскания [Забанбарк, Лобковский, 2022; Котельников, Ондо Айенвеге, 2022]. Однако, месторождения некоторых глубоководных конусов выноса хорошо изучены и эксплуатируются.

Река Нил – основной источник осадочного материала для восточной части Средиземного моря. Она и ее притоки дренирует огромную площадь северо-восточной Африки. Скорости опускания в прибрежной зоне дельты изменяются от 5 мм/год на востоке до 1 мм/год на западе. Максимальная ширина шельфа вблизи дельты 75 км. За последние 16 тыс. лет дельта отступила в сторону суши на 30 км от ее положения в последний ледниковый максимум. Увеличение твердого и жидкого стока р. Нил определено для позднего плиоцена – раннего плейстоцена вследствие поднятия плеча эфиопского рифта и увлажнения климата. Мощность четвертичных осадков дельты достигает 1000 м. Огромное количество наносов, выносимое рекой в восточную часть Средиземного моря, отложилось на глубоководье в виде крупного подводного конуса выноса. Прилегающий к дельте шельф представляет собой довольно ровную недеформированную структуру. Лишь в его восточной части сформировался массив песчаных волн вследствие действия вдольберегового течения. Далее постирается глубоководный конус выноса, который занимает континентальный склон, континентальное подножие вплоть до абиссальной равнины (глубина 3500 м). Рельеф конуса выноса создается в результате взаимодействия склоновых процессов перемещения осадков и соляной тектоники. Основные формы рельефа – разветвленная меандрирующая система обвалованных каналов и лопастей конусов выноса и сформированные движением соли хребты и складки. Также поверхность конуса выноса осложнена оползневыми телами, воронками газовых взрывов и грязевыми вулканами [Loncke, Mascle, 2004; Khalil et al., 2014; Sahran et al., 2014].

Геология. Как указывалось выше, этот регион отличается сложной тектоникой. Осадкообразование вокруг конуса выноса имеет существенные различия, которые определяются геологией смежных с ним областей. На западе находится абиссальная равнина Геродота, на севере – подводная гора Эратосфена, на востоке – бассейн Леванта. Особое значение имеет расположение зон тектонических нарушений, одна из которых (Rosseta) направлена с юго-запада на северо-восток и делит конус выноса на западную и восточную части. Другая (Temsah) направлена с юго-востока на северо-запад и была активна в плиоцене. Большое влияние на строение конуса выноса оказывают растущие листрические разломы и разломы ротационных блоков, также происходит реактивация разломов. В плиоцене основная тенденция в перемещение осадочного материала была направлена с юго-востока на северо-запад. Западная часть конуса выноса рассечена системой каналов, направленной на северо-запад. Эти каналы могут достигать длины 120 км, а ширины 5 км. Они обрамлены валами, высота которых превышает несколько десятков метров над тальвегом. Каналы могут рассекаться тектоническими нарушениями,. Плиоцен-четвертичный покров (максимум 4000 м) складывается из турбидитовых, гемипелагических и пелагических осадков. Отложения мутьевых потоков (турбидиты) в свою очередь подразделяются на образования, заполняющие каналы конусов выноса, осадки прирусловых валов и дистальные отложения (плащеобразные пески) в основании континентального склона и на абиссальной равнине [Abdel et al., 2000; Dolson et al., 2000].

Месторождения. В верхней части осадочного чехла находятся четвертичные газовые месторождения. Они расположены в западной части континентальной окраины, относительно дельты р. Нил, на континентальном склоне, в верхней части глубоководного конуса выноса. Четвертичные газовые месторождения образовались вследствие работы мутьевых потоков, связанных с дельтой р. Нил. Они могли наследовать более древние каналы, могли эродировать континентальный склон, впоследствии заполняя эрозионные врезы и строя конусы выноса на континентальном склоне. Осадочный покров этой части континентального склона имеет

сложное строение и представляет собой систему конусов выноса, сформированных турбидитовыми потоками различной плотности. Эти конусы впоследствии могли перекрываться оползнями, дебрис флоу, гемипелагическими осадками, песчаными и глинистыми шлейфами проксимальных и дистальных зон отложений суспензионных потоков [Sharaf et al., 2014].

Четвертичные газовые месторождения (Simian, Scarab, Rosetta, Saffron) расположены в верхней части континентального склона к западу от дельты, вдоль разломной зоны (Rosetta) (рис. 10).

Эти месторождения находятся в толще Эль Вастани (гелазий). К четвертичному периоду относятся толщи: Эль Вастани (гелазий), Мит Гамр (гелазий – плейстоцен), Билгаз (Голоцен). Мощность толщи Эль Вастани составляет ≥120 м. Толща Эль Вастани представлена чередованием мощных слоев песка и тонких прослоев опесчаненных глин. Газ биогенный и термогенный. Эта толща сформировалась вовремя регрессии. Залегающие выше толщи Мит Гамр и Билгаз имеют общую мощность 464 м. Толща Мит Гамр основании состоит из песка и гальки с тонкими прослоями углистого вещества. Вверх по разрезу осадки представлены чередованием песка и глины. Пески содержат торф и прибрежную и лагунную фауну. Эти осадки формировались в мелководной обстановке. Голоценовые отложения (Билгаз) покрывают подводную часть дельты Нила и конус выноса 25-метровым плащом. Они представлены чередованием песка и глины, содержат множество обломков моллюсков. [Sharaf et al., 2014; Kirkham, Cartwright, 2022].

Четвертичные газовые месторождения сформировались в осадках, заполняющих эрозионные врезы каналов, образованных во время падения уровня моря. Залежи установлены по данным сейсмических исследований и бурения [Loncke et al., 2006; Sharaf et al., 2014].

На рис. 11 показано строение месторождения Scarab, которое находится на континентальном склоне и представлено образованиями двух глубоководных каналов. По данным сейсмических исследований и бурения (скважина Scarab 2) установлено, что резервуары находятся в осадках (песчаники), заполняющих врезы каналов и в прирусловых валах каналов. Канал 2 более древний. Направление канала 1 – юго-восток – северо-запад, направление канала 2 – юг-юго-восток – север – северо-запад. Глубина моря в районе месторождения около 900 м. Продуктивный горизонт зафиксирован между глубинами 1625–1675 м от дна моря. Средняя мощность коллектора – 39 м [Ismail et al., 2019].

Месторождение Saffron также представляет собой скопление природного газа в образованиях мутьевых потоков, отложенных в каналах конуса выноса. Заполнение врезов составляет 150 м, газом насыщенные пески занимают 40 м. Месторождение Simian расположено между глубинами 500–1500 м. Кровля продуктивных песков, залегающих в эрозионных врезах конуса выноса, расположена на глубине 2600 м от морского дна. Мощность коллектора – 60 м [Eid et al., 2023].

Месторождения континентальной окраины севера-востока Апеннинского полуострова (северная часть Адриатического моря) в области активного проявления геодинамических процессов

Геология. Развитие северной части Адриатического моря и смежных с ней областей определяется коллизией Африканской и Европейской плит. Строение этой акватории сформировалось в результате взаимодействия Южных Альп, Северных Апеннин и Динарид и отличается значительной сложностью. Эти структуры надвигаются на северную часть Адриатического моря, расположенную на Адриатической микроплите (Адриа). Вследствие этого взаимодействия сформировался передовой прогиб: равнина р. По – северная Адриатика. С позднего миоцена складчато-надвиговый пояс Апеннин начинает перемещается на северо-восток, что приводит к укорочению передового прогиба. Активизация неотектонических процессов в плиоцене, которая продолжается до настоящего времени привела к складчатой деформации плиоцен-четвертичной толщи. Современные скорости поднятия в Альпах достигают 5 мм/год, а в Апеннинах – 1–2 мм/год. Современная геодинамика демонстрирует движение Апеннинского надвигово пояса в северо-северо-восточном направлении со скоростью 4–5 мм/год. Регион отличается высокой сейсмичностью (M ≥ 6) [Panara et al., 2021; Pace et al., 2022].

Отложения раннего кайнозоя представлены карбонатными образованиями. Во время Мессинского кризиса уровень моря падал на 800–900 м. Мессинский комплекс (мощность 200 м) состоит из гипса/ангидрита с подчиненными эвапоритовыми карбонатами. Источником обломочного материала для рек, впадающих в Северную Адриатику (Адидже, По, Пьяве) и, соответственно, для прилегающей континентальной окраины в течение квартера служили, главным образом Южные Альпы и частично Северные Апеннины. Кроме того следует учитывать твердый сток рек западного побережья Апеннискоого п-ова. Мощность плиоцен-четвертичных осадков может достигать 6000 м. Отложения плиоцен-четвертичного возраста представлены глинами, мергелями, алевритами,

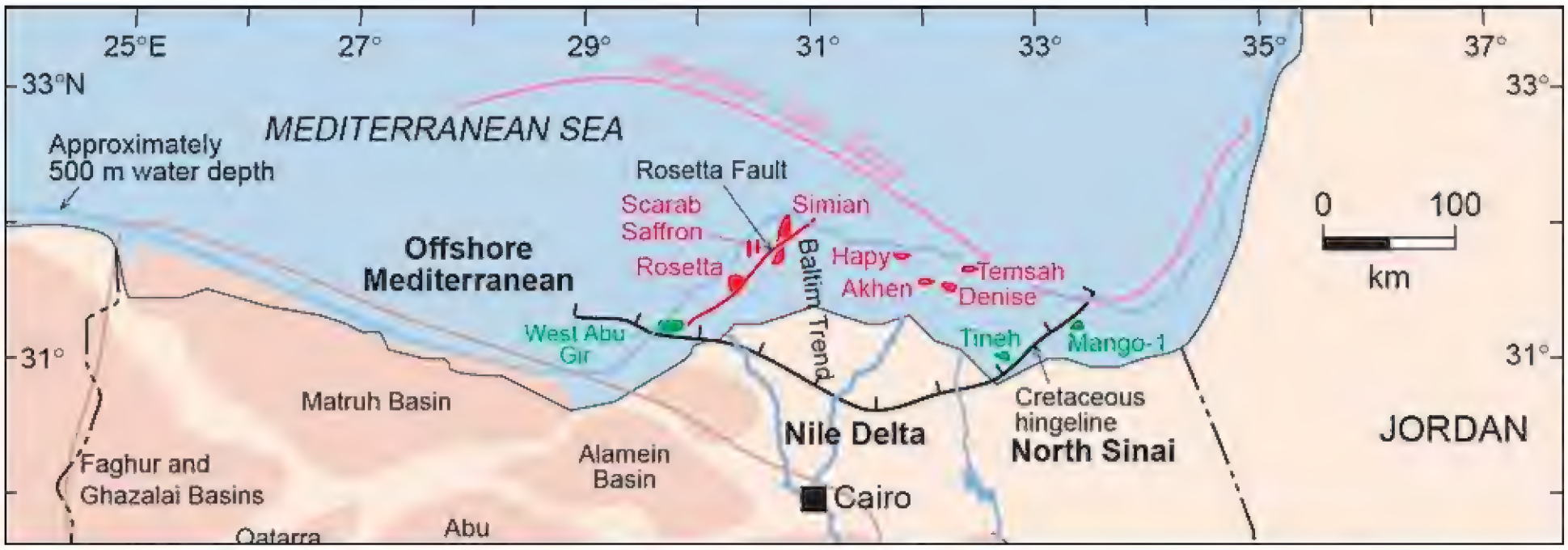


Рис. 10. Распространение газовых (красный цвет) и нефтяных (зеленый цвет) месторождений глубоководного конуса выноса р. Нил [Dolson et al., 2000 с изменениями]

Fig. 10. Distribution of gas (red) and oil (green) fields of the deep-water Nile fan [modified after Dolson et al., 2000]

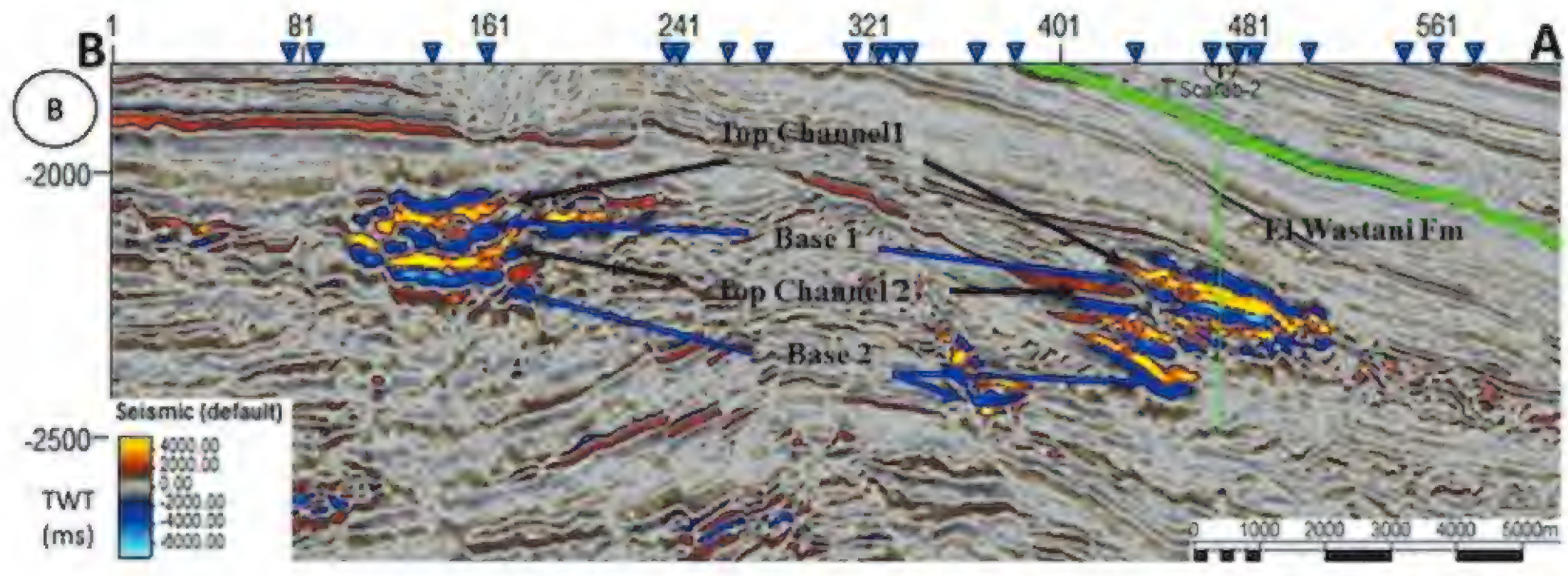


Рис. 11. Интерпретация сейсмического разреза через месторождение Scarab [Ismail et al., 2019]

Fig. 11. Interpretation of a seismic section through the Scarab field [Ismail et al., 2019]

алевролитами, песками и песчаниками. Основным путем перемещения обломочного материала была долина реки По, продвигающаяся на юго-восток [Velic, Malvic, 2011].

Квартер. В течение плейстоцена внешний шельф перемещался в сторону моря со скоростью 60 км/млн лет. Мощность гелазия-калабрия – 1200 м, скорость осадконакопления – 1,5 мм/год. В квартере увеличивается объем и крупность обломочного материала, поставляемого к шельфу, и соответственно, отложение песчаного материала на континентальном склоне. Мощность отложений раннего-среднего плейстоцена 1500 м, скорость седиментации 1,6 мм/год [Ghielmi et al., 2010]. Отмечается, что столь высокая скорость осадконакопления маскирует проявления тектонической активности.

В ледниковые стадии уровень моря падал, и дельты выдвигались к краю шельфа, генерируя мутьевые потоки. Газ содержится в отложениях мутьевых потоков и распространяется от 250 до 1100 м. Турбидиты представляют собой переслаивание мощных слоев песчаников или песков и глин. Газ концентрируется в песчаных слоях мощностью 2–30 м. Газ биогенный (сформированный в плиоцен-четвертичной толще) и термогенный (доставляемый по тектоническим нарушениям из осадков карбона).

В Адриатическом море разрабатываются несколько четвертичных газовых месторождений

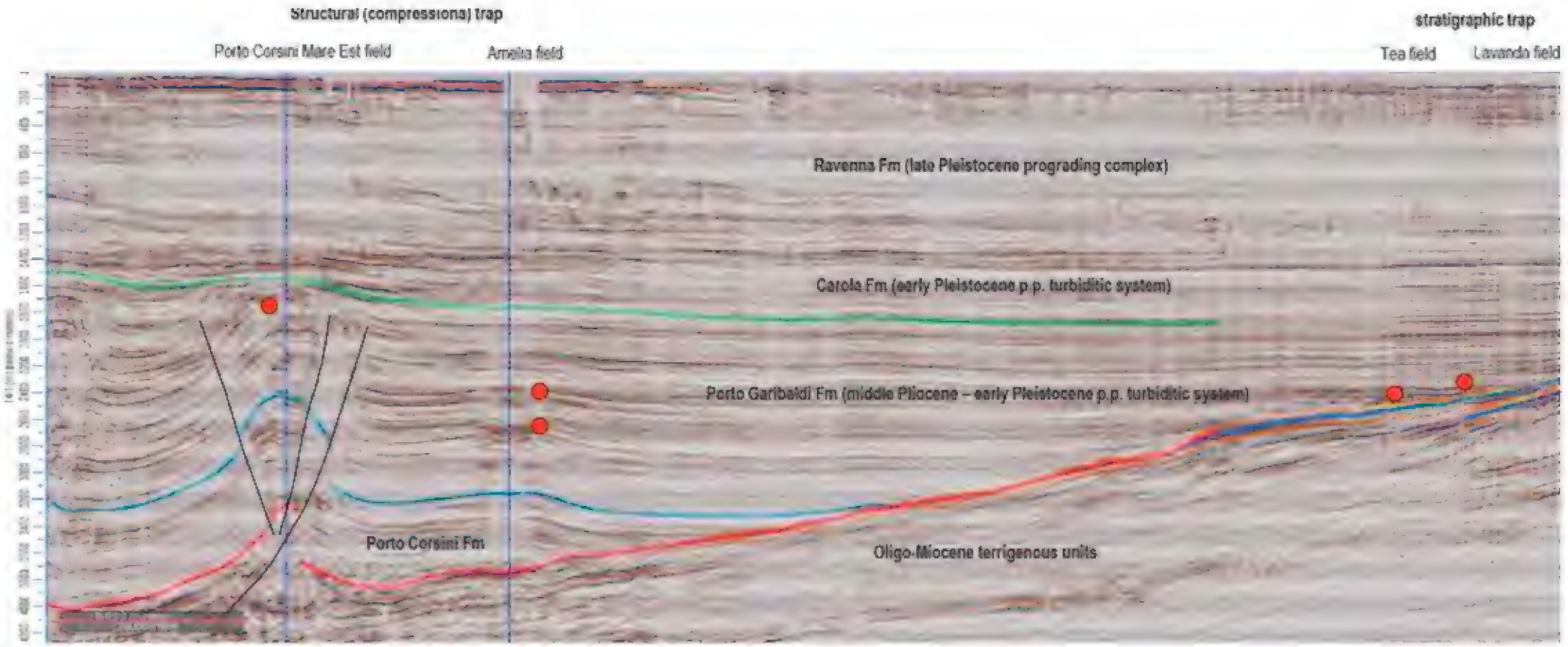


Рис. 12. Сейсмический профиль через северную часть Адриатического моря с юго-запада на северо-восток. Показано красными точками расположение четвертичных газовых месторождений (Porto Corsini Mare Est и Amelia). Цветные линии – стратиграфические границы [Cazzini et al., 2015]

Fig. 12. Seismic profile across the northern Adriatic Sea from southwest to northeast. The location of the Quaternary gas fields (Porto Corsini Mare Est and Amelia) is shown in red dots. Colored lines – stratigraphic boundaries [Cazzini et al., 2015]

(Porto Corsini Mare Est and Ovest, Porto Garibaldi, Amelia, Barbara) (рис. 12) [Cazzini et al., 2015].

Месторождение Porto Corsini Mare Est одно из крупнейших газовых (газ биогенный) в Адриатике. Структура сформировалась в гелазии-раннем плейстоцене вследствие компрессии со стороны надвигово пояса Апеннин.

В хорватской части Адриатики мощность четвертичных осадков меняется от 900 до 1500 м. Отложения квартера объединены в одну свиту (Иванна) с нижней границей 2,56 млн лет. В них мощность песчаных резервуаров может составлять 20 м. В раннем плейстоцене откладывались турбидиты мощностью 400–900 м. Осадки месторождения представлены переслаиванием песков и глин. Это отложения – заполнения подводных каналов и устьевых баров [Vukadin et al., 2023].

Месторождение квартера на континентальной окраине юго-востока о. Новая Гвинея (залив Папуа, Коралловое море)

В позднем кайнозое вследствие коллизии Австралийской плиты и островных дуг Тихого океана произошел подъем складчато-надвигово пояса Папуа. Горизонтальная скорость – 100 мм/год. Юго-западная часть залива опускается со скоростью 1 мм/год. За период с позднего плиоцена до позднего неоплейстоцена край шельфа выдвинулся в сторону моря больше, чем на 100 км. Край шельфа находится на глубине около 125 м.

Основной источник обломочного материала – аллювий р. Флай и еще нескольких рек (Вапи, Turama, Lakekamu) северного побережья. Эти реки продолжаются на шельфе как подводные долины. Скорость осадконакопления в подводных долинах изменяется от 6 мм/год на глубине шельфа 20 м до 25 мм/год на глубине 60 м. На окружающем шельфе аккумуляция составляет 6 мм/год. При падении уровня моря дельты перемещались к краю шельфа, и осадочный материал по каньонам в мутьевых потоках продвигался по континентальному склону к его подножию, формируя конусы выноса [Crockett et al., 2008]. Четвертичные отложения континентальной окраины представлены кремнисто-обломочными и карбонатными образованиями. Увеличение привноса обломочного материала с суши произошло в позднем плиоцене, что было вызвано подъемом Центрального нагорья острова, проявлением активного вулканизма, усилением муссона и падением уровня океана [Mallarino et al., 2021]. В результате сформировалась мощная толща плиоцен-четвертичных осадков (3500 м).

В южной части залива Папуа (о. Новая Гвинея) открыто четвертичное газовое месторождение Flinders (глубина моря около 2300 м) (рис. 13), газ

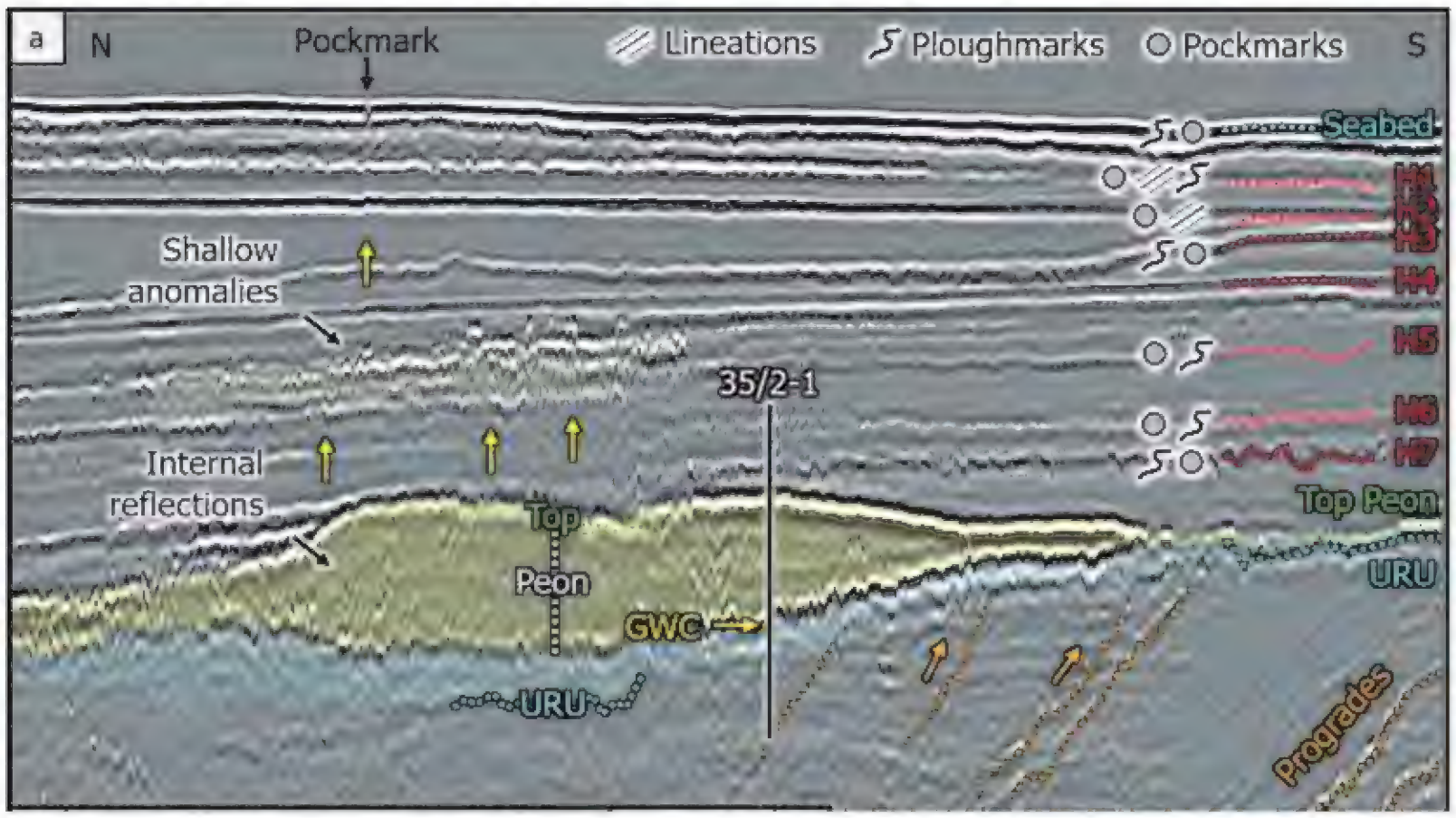


Рис. 13. Залив Папуа. Палеогеографическая схема времени 2,4 млн лет. Показано положение месторождения Flinders в подводном конусе выноса [Bailey et al., 2015]

Fig. 13. Gulf of Papua. Paleogeographic scheme of time 2.4 million years ago. The location of the Flinders field in a deep water fan is shown [Bailey et al., 2015]

биогенный. Возраст месторождения ≤2,4 млн лет. Коллектор (песок) имеет мощность 55 м. Эти пески представляют собой отложения мутьевых потоков, заполняющих каналы и лопасти подводного конуса выноса, по всей вероятности р. Turama [Bailey et al., 2015].

Газовое месторождение квартера на континентальной окраине северо-восточной части о. Борнео (Южно-Китайское море)

В северо-восточной части шельфа о. Борнео (активная континентальная окраина, бассейн Саравак) (глубина около 90 м) открыто газовое четвертичное месторождение Берилл. Мощность резервуара составляет 16,5 м, он залегает на глубине 1300 м от морского дна. Образование бассейна связано с коллизией континентального блока Южно-Китайского моря с о. Борнео (Калимантан) в кайнозое. Современная геодинамическая активность этого региона обусловлена его расположением между коллизионными плитами Тихого и Индийского океанов, а также Евразии и Австралии. В кайнозое шельф испытывает устойчивое опускание. В течение четвертичного периода осадкообразование зависело от колебаний уровня моря. Осадочный покров состоит, главным образом, из флювиальных осадков. Пески концентрируются в палеодолинах. На внешнем шельфе, в основании четвертичной толщи, обнаружены карбонатные постройки. Северо-восточная часть острова перемещается на запад со скоростью 4–6 мм/год [Simons et al., 2007; Kosa, 2015].

Четвертичные газовые месторождения, связанные с речными системами, располагаются на шельфе и на континентальном склоне и его подножии. На шельфе коллекторы представлены аллювием, а на континентальном склоне и его подножии – отложениями мутьевых потоков. Распределение коллекторов обусловлено тектоническими особенностями и колебанием уровня моря.

Четвертичные газовые месторождения ледниковых континентальных окраин

Континентальной окраина северо-запада Европы (моря Северное и Норвежское)

Квартер. В четвертичное время в этом регионе основным природообразующим фактором, естественно, были ледниковые процессы. Мощность ледникового покрова достигала первых километров. Основными магистралями выноса обломочного материала к континентальному подножию и абиссальной равнине являются троги, каналы, каньоны, подледниковые долины, которые заложились по тектоническим, флювиальным и литологическим нарушениям и в дальнейшем подверглись эрозии ледников и мутьевых потоков. Главное направление движения осадков ледниковых потоков от ледника к абиссальной равнине: линейное по

отрицательным формам рельефа, массовое, площадное смещение осадков. Также происходит катастрофический, обвально-оползневой срыв огромного объема отложений, изменяющий рельеф континентального склона и континентального подножия. Все эти возможные способы перемещения отложений испытывают влияние вертикальных, горизонтальных (скорость – 16–18 мм/год) неотектонических нарушений и землетрясений [Кохан и др., 2012]. В процессе перемещения от шельфа к абиссали огромного количества обломочного материала на большие расстояния создаются возможности для формирования массивов с хорошими коллекторскими свойствами.

Современная скорость осадконакопления в Норвежском желобе меняется с юга на север от 0,3 до 2,8 мм/год [De Haas et al., 1995]. Скорости погружения шельфа Северного моря увеличиваются с юго-востока на северо-запад (к центральной части) от 0,18–0,26 до 0,48 мм/год [Arfai et al., 2018]. Скорость осадконакопления в Северном море в эоплейстоцене – 0,18 мм/год [Lien et al., 2022]. Скорость осадконакопления на шельфе Скандинавского п-ова в неоплейстоцене – 0,28 мм/год. Скорость седиментации на плато Воринг в послеледниковье составляла 36 мм/год, а погружения (поздний неоплейстоцен) – 1,2 мм/год [Hjelstuen et al., 2004; Lien et al., 2022].

Месторождения. Наиболее известное четвертичное месторождение ледниковой окраины северо-западной Европы – это Пион, расположенное в устьевой части Норвежского желоба, на глубине 384 м (рис. 13). Норвежский желоб возник в результате эрозии после слияния Скандинавского и Британско-Ирландского ледниковых покровов около 0,8 млн л.н. Коллектор находится на глубине 534 м от дна моря, мощность его 45 м. Газ биогенный. В толще, покрывающей месторождение, выделяют 7 отражающих горизонтов, они представлены чередованием ледниковых и ледниково-морских мелкозернистых и глинистых образований и служат покрышкой для месторождения. На отражающих сейсмических горизонтах, покрывающих месторождение, фиксируются следы ледникового выпахивания, мегамасштабная ледниковая линейность, воронки разгрузки природного газа. По данным бурения верхний слой начал накапливаться около 15 тыс. л.н., отмечая время освобождения Норвежского желоба ото льда. На сейсмическом разрезе газонасыщенные осадки выделяются аномалией – яркое пятно. Площадь месторождения – 120 км^2. Предполагается, что газ поступает в коллектор по системе тектонических нарушений из нижележащих осадков, отделенных от месторождения угловым несогласием. Возраст верхнего регионального несогласия (URU), подстилающего коллектор Пион – 0,8 млн лет. Газосодержащие пески формировались между 400–200 тыс. л.н. путем неоднократного воздействия ледника. Предполагается, что песчаный массив отложился в период отступания ледникового покрова. В 80 м над коллектором находится промежуточная залежь, сложенная ледниково-морскими песками. Миграция газа из коллектора, видимо происходит по нарушениям, произведенными айсбергами в его верхней части [Mikalsen, 2015; Bellwald et al., 2022; Løseth et al., 2022].

В центральной части Северного моря было открыто четвертичное газовое месторождение Эвиат на глубине 81 м. Месторождение находится в границах раннеплейстоценового трога (Crenulate trough), направленного с юго-запада на северо-восток через центральную часть Северного моря. Осадки, подстилающие месторождение, представляют собой смешение алеврита, песка, глины и гальки (окатанной и неокатанной), хранят следы гляциотектонической деформации в виде смещений и складок. Коллектор (находится на расстоянии 400 м от поверхности морского дна) сложен мелкими песками и алевритом, мощность его 2–9 м. Возраст коллектора ≤1,78 млн лет. Ледниковые деформации более поздних стадий отсутствуют. Вероятно, месторождение образовалось в конусе выноса ледника, во флювиогляциальных отложениях, в стадии отступания. Газ биогенный Отложения коллектора возникли при отступании в одну из стадий развития ледникового покрова, а собственно месторождение во время последующего надвига. Ледник был своеобразной броней, способствующей насыщению коллектора газом и формированию месторождения. В дальнейшем коллектор не подвергался деформациям покрытый мощной толщей мелкообломочных отложений. В верхней части разреза наблюдаются борозды айсбергового выпахивания, мегамасштабная ледниковая линейность [Rose et al., 2016; Rea et al., 2018].

В Норвежском море, в центральной части шельфа (Haltenbanken), было обнаружено крупное скопление газа. Оно расположено на глубине около 200 м. Песчаный коллектор (мощность 50 м) залегает на 484 м от поверхности дна, над угловым несогласием (1,8 млн лет), был сформирован флювиогляциальным потоком [Ottesen et al., 2012].

На ледниковых континентальных окраинах развиты системы фьорд-трог – конус выноса. По этим системам огромные массы ледниковых грубообломочных отложений доставлялись к подножию континентального склона, которые в дальнейшем бронировались оползнями и морскими осадками. Предполагается, что такие образования могут быть перспективными относительно четвертичных месторождений углеводородов [Bellwald et al., 2022].

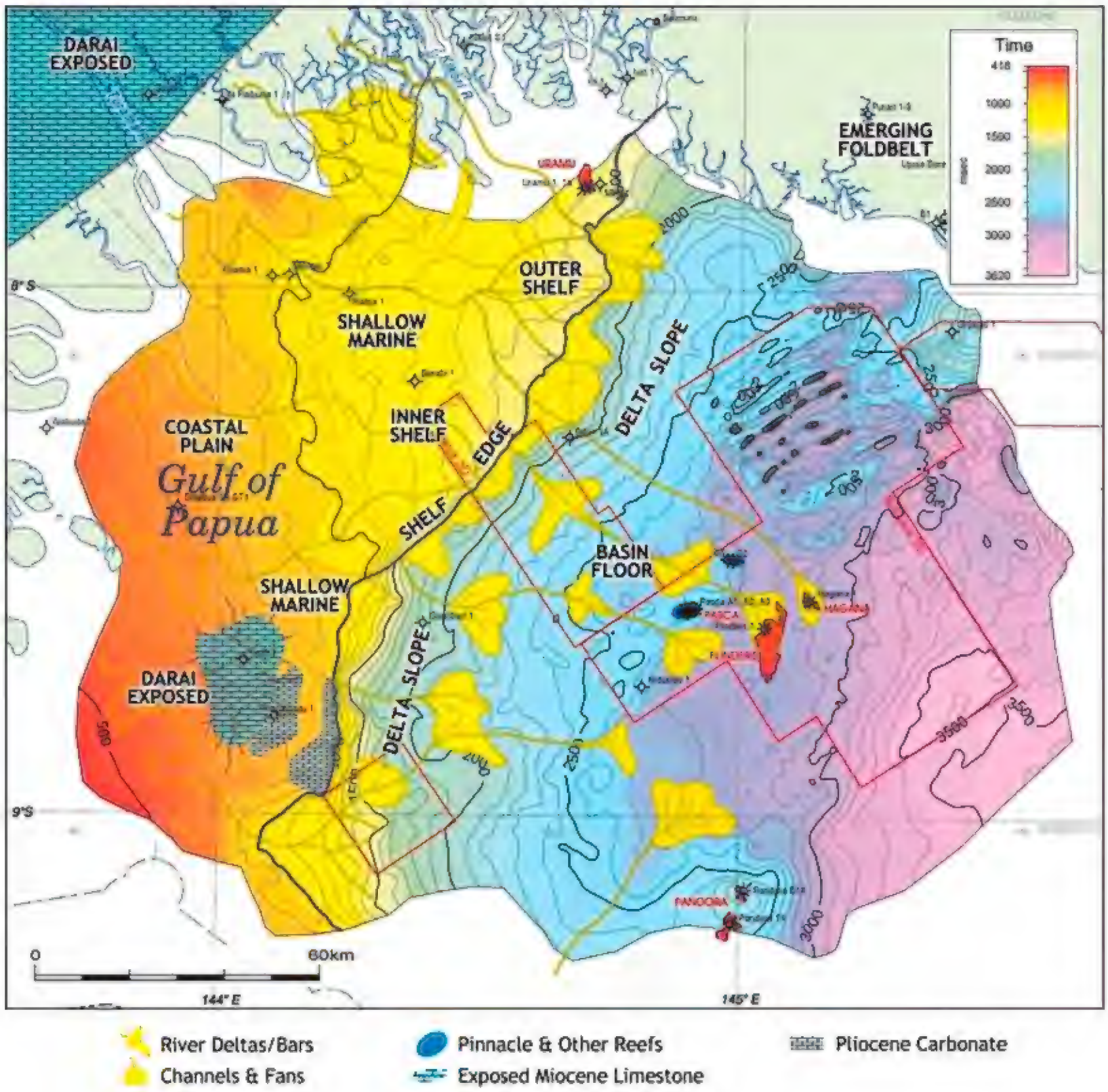


Рис. 14. Интерпретация сейсмического разреза четвертичного газового месторождения Пион [Bellwald et al., 2022 с изменениями]

Fig. 14. Interpretation of a seismic section of the Quaternary gas field Pion [modified after Bellwald et al., 2022]

Крупные скопления природного газа в осадках квартера на континентальных окраинах

Помимо разведанных и даже эксплуатируемых четвертичных газовых месторождений, распространены скопления природного газа в приповерхностной осадочной толще, часто они блокируются монолитными плотными горизонтами морских гидратов природного газа. При разрушении гидратного слоя свободный газ выделяется в водную толщу и даже в атмосферу.

Бенгальский залив. Большие площади скоплений природного газа и гидратов газа обнаружены в глубоководной части Бенгальского залива. В этом заливе находится самый большой подводный конус выноса в мире. Его основной источник обломочного материла – речная система Ганг–Брахмапутра. Осадки залива представлены чередованием отложений мутьевых потоков гемипелагических глин. Скорость осадконакопления в нижней части континентального склона в течение плейстоцена (≤1,8 млн лет) была 0,5 мм/год. В квартере на процессы седиментации в Бенгальском заливе оказали влияние: подъем Гималаев, муссон Южной Азии и гляциоэвстатические колебания уровня моря [Левитан, 2021].

Бассейн Рахайн, расположен в восточной части Бенгальского залива. Мощность четвертичных осадков 800 м. Исследования проводились на глу-

бине 1300–1900 м. Псевдодонный рефлектор (BSR) располагается на глубине 560 м от морского дна. Установлено, что под ним залегает свободный газ [Foschi et al., 2023].

Несколько газовых месторождений открыто в основании континентального склона в турбидитовых песках (пьяченций). Резервуары расположены на глубине 2900–3100 м от поверхности морского дна, в отложениях лопастей конуса выноса и прируслових валов [Chung et al., 2011]. Возможно, зона стабильности гидратов природного газа находится в четвертичных осадках, учитывая глубину расположения псевдодонного рефлектора (560 м). Гидраты природного газа не являются устойчивым образованием, поэтому ожидать формирование четвертичного месторождения в этой ситуации не стоит. По-видимому, четвертичные отложения Бенгальского конуса выноса не обладают достаточной мощностью или компактностью, чтобы удерживать природный газ. Возможно также, и отсутствие хороших коллекторов при доминировании мелкообломочного материала.

Южно-Китайское море. В бассейне к югу от о. Хайнань мощность четвертичных (1,8 млн лет) отложений изменяется от 230 до 980 м. Скорость осадконакопления равна 0,63 мм/год. На глубинах 1300–1700 м расположен конус выноса, сформированный мутьевыми потоками. Мощность турбидитовых песков в каналах достигает 90 м. На глубине 200–600 м от морского дна сформировалась система гидраты природного газа – свободный газ. Газ биогенный и термогенный. В верхней части разреза конуса залегает плотная глина [Liu et al., 2022]. Предполагается, что глина служит превосходным изолятором, и гидраты, и свободный газ могут считаться продуктивной толщей.

В **Черном море** наиболее перспективной относительно развития четвертичных скоплений природного газа является палеодельта Дуная, расположенная на континентальном склоне, где мощность отложений квартера составляет 3000–3500 м [Леончик и др., 2015].

Каспийское море. Бассейн Южного Каспия, несмотря на огромные мощности четвертичных отложений и активную современную геодинамику, не содержит месторождений углеводородов этого возраста. Предполагается, что образования квартера в большей степени представляют собой покрышку для плиоценовых месторождений, так как они состоят, главным образом, из глинистого материала. Это обстоятельство объясняется тем, что впадина отдалена от источников терригенного материала. Четвертичные месторождения встречаются на сухопутном обрамлении Каспийского моря (Апшеронский п-ов (площадь Хасилат), Прикаспийская низменность (Кирикилинское месторождение)) где они распространены в апшеронских образованиях [Ахмедов, 2018; Коннов, 2023].

Континентальная окраина Арктики. На внеледниковых континентальных окраинах Арктики мощности четвертичных осадков шельфа превышают показатели для шельфа ледниковых окраин, но этих значений недостаточно для формирований крупных залежей. В последнее время проведено бурение на внешнем шельфе морей Лаптевых и Восточно-Сибирского. По предварительным данным мощных отложений квартера там нет [Петров и др., 2023] По-видимому, на Арктических шельфах, как ледниковых, так и внеледниковых континентальных окраин, четвертичные месторождения отсутствуют. На основании широкого распространения эмиссии метана на арктических шельфах можно предполагать, что скопления природного газа аккумулируются в приповерхностной толще [Богоявленский, Кишанков, 2020]. На шельфе внеледниковых континентальных окраин распространены многолетнемерзлые породы. Они служат покрышкой для скоплений природного газа. Более того, там, где залегают многолетнемерзлые породы. Внутри них и под ними могут концентрироваться гидраты природного газа. Ярким примером такого сценария может служить шельф восточной части моря Бофорта, где многолетнемерзлые породы и гидраты природного газа блокируют более древние газовые месторождения. Современное потепление вызывает разрушение мерзлоты и последующую диссоциацию клатратной формы природного газа. Однако, мощности этих образований еще достаточно для бронирования нижележащих углеводородов [Riedel et al., 2015].

Более интенсивно такие процессы проявляются на севере Западной Сибири и прилегающем шельфе Карского моря. Шельф характеризуется отсутствием или островным распространением многолетнемерзлых пород. Там наблюдается сеть воронок газовых взрывов и пингоподобные структуры. На п-овах Ямал и Гыдан в последние годы образовалось несколько крупных воронок газовых взрывов. Это может свидетельствовать о скоплениях газа или гидратов в четвертичных отложениях, Присутствие газа в многолетнемерзлых породах зафиксировано по данным бурения в осадках казанцевского и ямальского возраста в окрестностях Бованенковского газоконденсатного месторождения [Строение…, 2007]. Предполагается, что такие воронки могут являться следствием и климатических изменений и тектонической активности. В Прикаспийской низменности, в дельте р. Волги, также обнаружены воронки газовых взрывов, которые могут образовываться вследствие нарушений различной природы в области четвертичных (апшеронских) газовых месторождений [Лаврушин и др., 2019].

Вероятно, по аналогии с известными месторождениями квартера, открытие залежей следует ожидать в области континентального склона и его подножия, в устьевых областях окраинных желобов (желоб Св. Анны, желоб Воронина), в областях больших речных систем (р. Лена, р. Колыма). В последние годы получены результаты по строению континентальных склонов Арктики, которые выявили формирование мощных осадочных образований. В Восточной Арктике континентальные склоны покрыты толщей, наиболее мощной в кайнозое, которая аккумулировалась последние 20 млн лет. Возможно здесь расположены конусы выноса мутьевых потоков, действовавших в квартере. В котловине Нансена обнаружены скопления газа в верхней части континентального склона в четвертичных отложениях (в 390 м от морского дна) [Сейсмостратиграфия…, 2021; Соколов и др., 2023].

Заключение

Известные четвертичные месторождения имеют небольшой размер. Может быть этот фактор, а также недостаточная степень изученности акваторий континентальных окраин ограничивают наши представления о распространении месторождений квартера.

Месторождения и скопления природного газа квартера распространены на континентальных окраинах, в областях крупных нефтегазовых бассейнов. Основным процессом, формирующим газовые резервуары, является активность мутьевых потов. Коллекторы создаются в процессе дифференциации обломочного материала на пути от источника к месту его выпадения в осадок.

Образование газовых месторождений квартера происходит в короткий временной отрезок. Следовательно, требуется практически одновременная концентрация всех процессов, участвующих в создании условий для аккумуляции природного газа. Такие обстановки существуют в областях с активной гео- и литодинамикой и при наличии достаточного количества обломочного материала.

Часть этих месторождений связана с подводными конусами выноса рек (система дельта р. Миссисипи – конус выноса, система дельта р. Нил – конус выноса), где расположены мощные четвертичные образования.

На континентальных окраинах с проявлениями соляной тектоники, именно миграция солей формирует минибассейны с четвертичными газовыми месторождениями. Минибассейны заполняются отложениями мутьевых потоков и гемипелагическими, и пелагическими осадками, при этом образуются и коллекторы и покрышки. Дислокации, которые возникают вследствие движения солей, могут разрушать коллекторы и способствовать эмиссии природного газа в водную толщу.

Стоит особо выделить ледниковые континентальные окраины, где основным фактором, создающим четвертичные месторождения, является гляциотектоника и дифференциация гляциогенного материала на стадиях наступания (роста) и отступания (таяния). Месторождения находятся на шельфе и в самой верхней части континентального склона, где активность ледника проявляется наиболее ярко. Косвенным образом ледники влияют на условия захоронения более древних месторождений углеводородов, эродируя поверхность морского дна, на миграцию природного газа изменяя рельеф, нарушая сплошность осадков. Газовых месторождений немного. Вполне возможно, что часть их могла исчезнуть в последний ледниковый максимум, вследствие разрушения покрышек, либо за счет эрозии флювиогляциальными потоками.

Четвертичные газовые месторождения имеют существенные различия, но и сходные характеристики (табл.).

По особенностям геодинамики областей газовых месторождений квартера можно определить, что тектонический режим оказывает существенное влияние на образование ловушек. Особенно ярко это проявляется на континентальной окраине о. Новая Гвинея, где образовался довольно крупный четвертичный коллектор

Месторождения квартера явление довольно редкое. Мощные подводные конусы выноса формируются аллювием рек Инд и Ганга и Брахмапутры в Индийском океане. Эти реки преодолевают огромные расстояния, чтобы доставить, в основном, мелкий материал к океану. В результате газовые месторождения квартера там пока или не открыты или нет необходимых условий для их образования.

Массивы гидратов природного газа с одной стороны являются месторождением, а с другой стороны – это флюидоупор, препятствующий концентрации свободного газа в четвертичных осадках. Однако, это довольно эфемерная система, которая может деградировать и при геодинамических воздействиях, и при климатических изменениях.

В российской Арктике, по всей вероятности, на континентальных склонах ледниковых континентальных окраин, где накапливался гляциальный материал, существуют необходимые и достаточные условия для образования молодых месторождений. На внеледниковых окраинах такие обстановки развиты в подводных конусах выноса великих сибирских рек.

Благодарности. Автор от всей души благодарна А. Забанбарк за ценные консультации и конструктивные замечания.

Таблица. Характеристики четвертичных газовых месторождений континентальных окраин*
Table. Characteristics of Quaternary gas fields of continental margins

Показатели \ Залежь	1	2	3	4	5
Область расположения	Подводный конус выноса р. Миссисипи	Вынос Скандинавского ледника	Подводный конус выноса р. Нил	Передовой прогиб	Подводный конус выноса р. Турама
Глубина моря (м)	305–2019	81–384	500–1500	250–100	1500
Мощность квартера (м)	2000–3500	500–1000	? 4000	? 1500	? 3500
Мощность коллектора (м)	? 60	2–50	39–40	2–30	55
Скорость погружения (мм/год)	4	0,18–0,48	1–5 Береговая зона	–	1
Скорость горизонтальных движений (мм/год)	27	16–18	30	5	100
Скорость осадконакопления (мм/год)	10	0,18–2,8	0,32–4,0	1,5–1,6	6–25
Влияние соляной тектоники	+	+	+		
Геодинамическая обстановка	Межплитная дивергентная граница	Межплитная дивергентная граница	Зона субдукции	Зона коллизии?	Зона коллизии

* Залежи газа на континентальных окраинах: 1 – континентальная окраина юга Северной Америки; 2 – ледниковая окраина северо-запада Европы; 3 – континентальная окраина северо-востока Африки; 4 – континентальная окраина северо-востока Апеннинского п-ова; 5 – континентальная окраина юго-восточной части о. Новая Гвинея (залив Папуа).

* Gas pools on continental margins: 1 – continental margin of southern North America; 2 – glacial margin of northwestern Europe; 3 – continental margin of northeast Africa; 4 – continental margin of the northeast of the Apennine Peninsula; 5 – continental margin of the southeastern part of the island of New Guinea (Gulf of Papua).

Финансирование. Исследования проведены в соответствии с планами научно-исследовательских работ ГИН РАН: «Фундаментальные проблемы тектонических, литогенетических процессов формирования складчатых структур Северо-Востока Азии» (тема госзадания FMMG-2023-0010).

Литература

Ахмедов Т.Р. Перспективные стратиграфические ловушки углеводородов апшеронской свиты по данным сейсморазведки (на примере площади «Хасилат» юго-востока Апшеронского полуострова) // Известия УГГУ. 2018. Вып. 1(49). С. 18–22. DOI 10.21440/2307-2091-2018-1-18-22

Богоявленский В.И., Кишанков А.В. Опасные газонасыщенные объекты на акваториях Мирового океана: Чукотское море (Россия и США) // Арктика: экология и экономика. 2020. № 2(38). С. 45–58. DOI: 10.25283/2223-4594-2020-2-45-58.

Богоявленский В.И., Кишанков А.В. Опасные газонасыщенные объекты на акваториях Мирового океана: море Бофорта, шельф Северного склона Аляски // Научные исследования в Арктике. 2023. Т. 13. № 2. С. 201–210.

Друщиц В.А. Динамика осадочного материала и разгрузка природного газа на континентальной окраине Арктики // Геология морей и океанов: Мат-лы XXV Международной науч. конф. по морской геологии. М.: ИО РАН. 2023. Т. 1. С. 54–57.

Друщиц В.А. а Особенности перемещения осадочного материала на ледниковых и внеледниковых континентальных окраинах Арктики // Труды XII Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование» 23–28 октября 2023. Тверь: ООО «ПолиПРЕСС». 2023. Т. 4. С. 39–46.

Забанбарк А., Лобковский Л.И. Геологическое строение и нефтегазоность современных и древних континентальных окраин Атлантического океана. М.: Научный мир. 2022. 288 с.

Коннов Д.А. Литолого-фациальная модель апшеронских отложений Кирикилинской площади // Нефтегазовые технологии и экологическая безопасность. 2023. № 1. С. 65–71. https://doi.org/10.24143/1812- 9498-2023-1-65-71.

Котельников А.Е., Ондо Айенвеге Л.М. Геологическое строение и нефтегазоносность шельфа Республики Экваториальная Гвинея. Вестник РУДН. Серия: Инженерные исследования. 2022. Т. 23. № 2. С. 174–181.

Кохан А.В., Дубинин Е.П., Грохольский А.Л. Геодинамические особенности структурообразования в спрединговых хребтах Арктики и Полярной Атлантики // Вестник КРАУНЦ. 2012. № 1. В. 19. С. 59–77.

Лаврушин Ю.А., Антипов М.П., Кураленко Н.П., Спиридонова Е.А., Тудрин А. Строение, морфогенез и кинематика гравитационного позднечетвертичного покрова юго-западной части Северного Прикаспия // Бюлл. комис. по изуч. четв. периода. М.: ГЕОС. 2019. № 77. С. 8–85.

Левитан М.А. Плейстоценовые отложения Мирового океана. М.: РАН. 2021. 408 с.

Леончик М.И., Сенин Б.В., Хортов А.В. Перспективы газоносности кайнозоя Черного моря // Научно-технический сб. Вести газовой науки.2015. № 2. С. 54–62.

Петров О.В., Никишин А.М., Петров Е.И. и др. Результаты стратиграфического бурения в Восточно-Сибирском море с целью геологического изучения зоны сочленения структур континентального шельфа и глубоководных акваторий Северного Ледовитого океана // Докл. Акад. наук. 2023. Т. 512. № 2. С. 100–110.

Сейсмостратиграфия, палеогеография и палеотектоника Арктического глубоководного бассейна и его российских шельфов / Никишин А.М. и др.; Отв. ред. Н.Б. Кузнецов. М.: ГИН РАН. Вып. 632. 2022. 156 с.

Скарятин М.В., Баталова А.А., Воргачева Е.Ю. и др. Соляная тектоника и перспективы нефтегазоносности российского сектора Чукотского моря // Нефтяное хозяйство. 2020. № 2. В. 1156. С. 12–17. DOI: 10.24887/0028-2448-2020-2-12-17.

Соборнов К.О. Нефтегазоносный потенциал зон дислоцированных соляных диапиров Тимано-Печорского бассейна // Mineral Resources of Russia. Economics and Management. 2023. № 2. DOI: 10.1306/11357Sobornov2022.

Соколов С.Ю., Geissler W.H., Абрамова А.С. и др. «Плоские пятна» в кайнозойских осадках котловины Нансена (Северный Ледовитый Океан): индикаторы процессов серпентинизации, генерации газа и его аккумуляции // Литология и полезные ископаемые. 2023. № 1. С. 3–20.

Шипилов Э.В. Соляная тектоника в окраинно-континентальных эвапоритовых бассейнах Арктики // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2018. 15. С. 401–404.

Arfai J., Franke D., Lutz R., et al. Rapid Quaternary subsidence in the northwestern German North Sea // Scientific Reports. 2018. V. 8. 11524. DOI:10.1038/s41598-018-29638-6.

Bailey B., Salem G., Haltmeier P. Testing the Tertiary Basin Floor Fan Play in the Gulf of Papua, PNG // AAPG/SEG International Conference and Exhibition Melbourne, Australia, September 13–16, 2015.

Bellwald B., Planke S., Vadakkepuliyambatta S. et al. Quaternary and Neogene Reservoirs of the Norwegian Continental Shelf and the Faroe- Shetland Basin // First Break. 2022. Vol. 40. No 6. P. 43–54.

Bruin G., Veen T.H.,Wilpshaar M. et al. Origin of shallow gas in the Dutch North Sea – Seismic versus geochemical evidence // Interpretation. 2021. V. 10. Is. 1. DOI: 10.1190/int-2021-0081.1.

Cazzini F., Zotto O., Fantoni R.O. et al. Oil and gas in the Adriatic forland, Italy // Jour. of Petroleum Geology. 2015. V. 38. P. 255–279.

Chung U.H., Yang S. , Kim J.W. Numerical Simulation of Deep Biogenic Gas Play Northeastern Bay of Bengal, Offshore Northwest Myanmar // AAPG International Conference & Exhibition 23–26 October 2011. Italy.

Cohen K.M., Gibbard P.L., Weerts H.J.T. North Sea palaeogeographical reconstructions for the last 1 Ma // Netherlands Journal of Geosciences. 2014. P. 1–23. doi:10.1017/njg.2014.12

Crawford T.G., Burgess G.L., Haley S.M. et al. Estimated Oil and Gas Reserves Gulf of Mexico // U.S. Department of the Interior Minerals Management Service New Orleans Gulf of Mexico OCS Regional Office. 2009. P. 48.

Crockett J.S., Nittrouer C.A., Ogston A.S. et al. Morphology and filling of incised submarine valleys on the continental shelf near the mouth of the Fly River, Gulf of Papua // J. Geophys. Res. 2008. V. 113, F01S12, doi:10.1029/2006JF000674.

De Haas H., Okkels E., Van Weering T.C.E. Recent sediment accumulation in the Norwegian Channel, North Sea // Nor. geol. unders. Bull. 1996. V. 430. P. 57–65.

Dolson J.C., Shann M.V., Matbouly S.I. et al. Egypt in the Twenty-First Century: Petroleum Potential in Offshore Trends // GeoArabia. 2000. V. 6. № 2. P. 211–230.

Ducassou E., Migeon B., Mulder T. et al. Evolution of the Nile deep-sea turbidite system during the Late Quaternary: influence of climate change on fan sedimentation // Sedimentology. 2009. doi: 10.1111/j.1365-3091.2009.01070.

Eid R., El-Anbaawy M., El-Tehiwy A. Porosity estimation in deep-water slope-channel system using seismic inversion model: A case study from the Nile Delta Basin, Egypt // Contributions-to-Geophysics-and-Geodesy. 2023. V. 53/2. P. 129–149.

Foschi M., Etiope G., Cartwright J.A. Seismic evidence of extensive microbial gas migration and trapping in submarine gas hydrates (Rakhine Basin, Bay of Bengal) // Marine and Petroleum Geology. 2023. V. 149. doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2023.106100.

Galloway W.E. Depositional Evolution of the Gulf of Mexico Sedimentary Basin // Sedimentary Basins of the World. K.J. Hsü, editor. The Netherlands: Elsevier. 2008. V. 5. P. 505–549.

Gaullier V., Mart Y., Bellaicher J. et al. Salt tectonics in and around the Nile deep-sea fan: Insights from the PRISMED II cruise // Geological Society 10.1144/GSL.SP.1999.174.01.07.

Geng M., Ali M.Y., Fairhead J.D. Hormuz salt distribution in the United Arab Emirates: Implications for the location of hydrocarbon fields // Marine and Petroleum Geology. 2022. V. 143.105797. https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2022.105797

Hamouda A., El-Gharabawy S. Impacts of Neotectonics and Salt Diaper on the Nile Fan Deposit, Eastern Mediterranean // Environmental and Earth Sci. Res. J. 2019. V. 6. № 1. P. 8–18.

Ismail A., Ewida H.F., Al-Ibiary M.G. et al. Identification of gas zones and chimneys using seismic attributes analysis at the Scarab field, offshore, Nile Delta, Egypt // Petroleum Research. 2019. https://doi.org/10.1016/j.ptlrs.2019.09.002

Kirkham Ch., Cartwright J. Mud volcanoes and dissolution structures as kinematic markers during salt tectonic deformation // Basin Research. 2022. V. 34. P. 99–120.

Kosa E. Sea-level changes, shoreline journeys, and the seismic stratigraphy of Central Luconia, Miocene-present, offshore Sarawak, NW Borneo // Marine and Petroleum Geology // 2015. V. 59. P. 35–55.

Kuhlmann G., Wong T.E. Pliocene paleoenvironment evolution as interpreted from 3D-seismic data in the southern North Sea, Dutch offshore sector / / Marine and Petroleum Geology. 2008. V. 25. P. 173–189.

Lien O.F., Hjelstuen B.O., Zhang X. et al. Late Plio-Pleistocene evolution of the Eurasian Ice Sheets inferred from sediment input along the northeastern Atlantic continental margin // Quat. Sci. Rev. 2022. V. 282. P. 1–17.

Liu K., Peng C., Hu T. et al. Development Model of Shallow Lithologic Traps and Natural Gas Accumulation Mechanisms in Marine Deep-Water Areas: A Case Study in the Qiongdongnan Basin, South China Sea. 2022 // http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4268939.

Loncke L., Mascle J. Mud volcanoes, gas chimneys, pockmarks and mounds in the Nile deep-sea fan (Eastern Mediterranean): geophysical evidences // Marine and Petroleum Geology. 2004. V. 21. P. 669–689.

Loncke L., Gaullier V., Mascle J. The Nile deep-sea fan: An example of interacting sedimentation, salt tectonics, and inherited subsalt paleotopographic features // Marine and Petroleum Geology. 2006. V. 23. P. 297–315.

Løseth H., Nygård A., Batchelor Ch.L. et al. A regionally consistent 3D seismic-stratigraphic framework and age model for the Quaternary sediments of the northern North Sea // Marine and Petroleum Geology. 2022. V. 142. 105766.

Mallarino G., Francis J., Jorry S. et al. Timescale dependent sedimentary record during the past 130 kyr from a tropical mixed siliciclastic–carbonate shelf edge and slope: Ashmore Trough (southern Gulf of Papua) // Sedimentology. 2021. doi: 10.1111/sed.12867

Mikalsen H. Reservoir structure and geological setting of the shallow PEON gas reservoir. EOM-3901 Master's Thesis in Energy, UiT, The Arctic University of Norway, 2014. 99 p.

Mokhar M., Saad M., Selim S. Reservoir architecture of deep marine slope channel, Scarab field, offshore Nile Delta, Egypt: application of reservoir characterization // Egyptian journal of petroleum. 2016. V. 25. P. 495–508. https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2015.11.003

Müller S., Reinhardt L., Franke D. et al. Shallow gas accumulations in the German North Sea // Marine and Petroleum Geology. 2018. doi: 10.1016/ j.marpetgeo.2017.12.016.

Ottesen D., Dowdeswell J. A., Rise L. et al. Large-scale development of the mid-Norwegian shelf over the last three million years and potential for hydrocarbon reservoirs in glacial sediments // Geological Society, London, Special Publications v. 368, first published March 8, 2012; doi 10.1144/SP368.6

Pace P., Calamita F., Boccaletti M. Plio-Quaternary interaction between Adria and surrounding orogens: a Central-Northern Apennines perspective // All Earth. 2022. DOI: 10.1080/27669645.2022.2139893.

Panara Y., Maesano F.E., Amadori C. et al. Probabilistic Assessment of Slip Rates and Their Variability Over Time of Offshore Buried Thrusts: A Case Study in the Northern Adriatic Sea // Front. Earth Sci.2021. V. 9. doi: 10.3389/feart.2021.664288

Rea B.R., Newton A.M.W., Lamb R.M.et al. Extensive marine-terminating ice sheets in Europe from 2.5 million years ago // Sci. Adv. 2018. V. 4, eaar8327.

Riedel M., Taylor G., Taylor A.E. et al. Evidence for deep gas hydrate stability zone associated with submerged permafrost on Canada Arctic Beaufort Shelf. Northwest Territories // Geologic Survey of Canada. Cur. Res. 2015. V. 8. 17 p.

Römer M., Blumenberg M., Heeschen K. et al. Seafloor Methane Seepage Related to Salt Diapirism in the Northwestern Part of the German North Sea.

Front. Earth Sci. 2021.V. 9:556329. doi: 10.3389/feart.2021.556329

Rose PH., Byerley G., Vaughan O. et al. Aviat: a Lower Pleistocene shallow gas hazard developed as a fuel gas supply for the Forties Field // Petroleum Geology of NW Europe: 50 Years of Learning – Proceedings of the 8th Petroleum Geology Conference. 2016. http://doi.org/10.1144/PGC8.16, updated version.

Ruiz-Osorio A.S. Tectonostratigraphic Evolution and Salt Tectonic Processes of the Isthmus Saline Basin, Southeastern Gulf of Mexico: Implication for Petroleum Systems and Exploration. Royal Holloway University of London. PH Thesis. 2016. 321 p.

Sharaf E., Korrat I., H., Esmaiel E. Seismic Imaging and Reservoir Architecture of Sub-Marine Channel Systems Offshore West Nile Delta of Egypt. Open Journal of Geology. 2014 V. 4. P. 718–735. doi: 10.4236/ojg.2014.412052.

Simons W.J.F., Socquet A., Vigny C. et al. A decade of GPS in Southeast Asia: Resolving Sundaland motion and boundaries // J. Geophys. Res. 2007. V. 112. B06420, doi:10.1029/2005JB003868.

Uranga R.M., Ferrer O., Zamora G. et al. Salt tectonics of the offshore Tarfaya Basin, Moroccan Atlantic margin // Marine and Petroleum Geology. 2022. V. 138. https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2021.105521.

Velic J., Malvic T. Depositional conditions during Pliocene and Pleistocene in Northern Adriatic and possible lithostratigraphic division of these rocks // NAFTA. 2011. V. 62(1-2). P. 25–32.

Vukadin D., Cogelja Z., Vidac̆ek R. et al. Lithology and Porosity Distribution of High-Porosity Sandstone Reservoir in North Adriatic Using Machine Learning Synthetic Well Catalogue // Appl. Sci. 2023. V. 13. 7671. doi.org/10.3390/app13137671.

Weimer P., Bouroullec R., Adson J. et al. An overview of the petroleum systems of the northern deep-water Gulf of Mexico // AAPG Bulletin. 2017. V. 101. № 7. P. 941–993.

Wu N., Jackson C.A., Johnson H.D. et al. Mass-transport complexes (MTCs) document subsidence patterns in

a northern Gulf of Mexico salt minibasin // Basin Research. 2020. V. 32(6). P. 1300–1327. ISSN 0950-091X. https://doi.org/10.1111/bre.12429

Literature

Akhmedov T.R. Promising stratigraphic traps of hydrocarbons of the Absheron formation according to seismic data (using the example of the "Khasilat" area in the southeast of the Absheron Peninsula) // Izvestia UGGU. 2018. Vol. 1(49). pp. 18–22. DOI 10.21440/2307-2091-2018-1-18-22.

Bogoyavlenskiy V.I., Kishankov A.V. Opasnyye gazonasyshchennyye ob"yekty na akvatoriyakh Mirovogo okeana: Chukotskoye more (Rossiya i SSHA) // Arktika: ekologiya i ekonomika. 2020. № 2(38). S. 45–58. DOI: 10.25283/2223-4594-2020-2-45-58.

Bogoyavlenskiy V.I., Kishankov A.V. Opasnyye gazonasyshchennyye ob"yekty na akavtoriyakh Mirovogo okeana: more Boforta, shel'f Severnogo sklona Alyaski // Nauchnyye issledovaniya v Arktike. 2023. T. 13. № 2. S. 201–210.

Drushchits V.A. Dinamika osadochnogo materiala i razgruzka prirodnogo gaza na kontinental'noy okraine Arktiki // Geologiya morey i okeanov: Mat-ly XXV Mezhdunarodnoy nauch. konf. po morskoy geologii. M.: IO RAN. 2023. T. 1. S. 54–57.

Drushchits V.A. a Osobennosti peremeshcheniya osadochnogo materiala na lednikovykh i vneledni kovykh kontinental'nykh okrainakh Arktiki // Trudy XII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Morskiye issledovaniya i obrazovaniye» 23–28 oktyabrya 2023. Tver': OOO «PoliPRESS». 2024. T. 4. S. 39–46.

Zabanbark A., Lobkovskiy L.I. Geologicheskoye stroyeniye i neftegazonosnost' sovremennykh i drevnikh kontinental'nykh okrain Atlanticheskogo okeana. M.: Nauchnyy mir. 2022. 288 s.

Kokhan A.V., Dubinin Ye.P., Grokhol'skiy A.L. Geodinamicheskiye osobennosti strukturoobrazovaniya v spredingovykh khrebtakh Arktiki i Polyarnoy Atlantiki // Vestnik KRAUNTS. 2012. № 1. V. 19. S. 59–77.

Konnov D.A. Litologo-fatsial'naya model' apsheronskikh otlozheniy Kirikilinskoy ploshchadi // Neftegazovyye tekhnologii i ekologicheskaya bezopasnost'. 2023. № 1. S. 65–71. https://doi.org/10.24143/1812-9498-2023-1-65-71.

Kotel'nikov A.Ye., Ondo Ayyenvege L.M. Geologicheskoye stroyeniye i neftegazonosnost' shel'fa Respubliki Ekvatorial'naya Gvineya Vestnik RUDN. Seriya: Inzhenernyye issledovaniya. 2022. T. 23. № 2. S. 174–181.

Lavrushin Yu.A., Antipov M.P., Kuralenko N.P., Spiridonova Ye.A., Tudrin A. Stroyeniye, morfogenez i kinematika gravitatsionnogo pozdnechetvertogo pokrova yugo-zapadnoy chasti Severnogo Prikaspiya // Byull. komis. po izuch. chetv. period. M.: GEOS. 2019. № 77. S. 8–85.

Levitan M.A. Pleystotsenovyye predlozheniya Mirovogo okeana. M.: RAN. 2021. 408 s.

Leonchik M.I., Senin B.V., Khortov A.V. Perspektivy gazonosnosti kaynozoya Chernogo morya // Nauchno-tekhnicheskiy sb. Vesti gazovoy nauki. 2015. № 2. S. 54–62.

Petrov O.V., Nikishin A.M., Petrov Ye.I. i dr. Rezul'taty stratigraficheskogo bureniya v Vostochno-Sibirskom more s tsel'yu geologicheskogo izucheniya zony sochleneniya struktur kontinental'nogo shel'fa i glubokovodnykh akvatoriy Severnogo Ledovitogo okeana // Dokl. Akad. nauk. 2023. T. 512. № 2. S. 100–110.

Seysmostratigrafiya, paleogeografiya i paleotektonika Arkticheskogo glubokovodnogo basseyna i yego rossiyskikh shel'fov / Nikishin A.M. i dr.; Otv. red. N.B. Kuznetsov. – Moskva: GIN RAN. Vyp. 632. 2022. 156 s.

Skaryatin M.V., Batalova A.A., Vorgacheva Ye.YU. i dr. Solyanaya tektonika i perspektivy neftegazonosnosti rossiyskogo sektora Chukotskogo morya // Neftyanoye khozyaystvo. 2020. № 2. V. 1156. S. 12–17. DOI: 10.24887/0028-2448-2020-2-12-17.

Sobornov K.O. Neftegazonosnyy potentsial zony dislotsirovannykh solyanykh diapirov Timano-Pechorskogo basseyna // Mineral Resources of Russia. Economics and Management. 2023. № 2. DOI: 10.1306/11357Sobornov2022.

Sokolov S.Yu., Geyssler V.Kh., Abramova A.S. i dr. «Ploskiye pyatna» v kaynozoyskikh osadkakh kotloviny Nansena (Severnyy Ledovityy okean): indikatory protsessov serpentinizatsii, generatsii gaza i yego nakopleniya // Litologiya i poleznyye iskopayemyye. 2023. № 1. S. 3–20.

Shipilov E.V. Solyanaya nauchnaya tektonika v tsentral'no-kontinental'nykh evaporitovykh basseynakh Arktiki // Trudy Fersmanovskoy sessii GI KNTS RAN. 2018. 15. S. 401–404.

V.A. Drouchits

QUATERNARY GAS FIELDS ON THE CONTINENTAL MARGINS

The distribution of Quaternary gas deposits on the continental margins is considered. The most famous gas fields are confined to areas of development of salt tectonics and submarine fans of large rivers (Mississippi River, Nile River). Reservoirs are formed by turbidite flows. Glaciers on adjacent shelves form reservoirs during the period of retreat, which are then armored by glacial and glaciomarine sediments (North and Norwegian seas). Quaternary gas fields are united by belonging to geodynamically active zones.

Key words. Gas fields, Quaternary, continental margin, salt tectonics, deep-sea fans, geodynamics

БЮЛЛЕТЕНЬ КОМИССИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ЧЕТВЕРТИЧНОГО ПЕРИОДА
№ 81, 2023 г.

ВЕРХНЕПЛЕЙСТОЦЕНОВАЯ ПАЛЕОПОЧВА (FPS-GN) РАЗРЕЗА «ГЕНЕРАЛ» (РАМЕНСКИЙ РАЙОН МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ): СТРАТИГРАФИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ И МОРФОЛОГИЯ

С.В. Наугольных

Геологический институт РАН, г. Москва
naugolnykh@list.ru

DOI: 10.34756/GEOS.2024.17.38811

В статье приведена характеристика верхнеплейстоценовых отложений, обнажающихся по северо-восточному берегу озера Генерал (Генеральское), расположенному в пределах первой и второй террас реки по левобережью р. Москвы в Раменском районе Московской области. Дана предварительная характеристика палеопочвенного профиля позднеплейстоценового (валдайского) возраста, являющегося дистальным катениальным звеном раменской палеопочвы. Даны результаты аналитических исследований гранулометрии как вмещающих отложений, так и палеопочвенного профиля. Значительная часть частиц, слагающих палеопочву, имеет пылеватую размерность и сопоставима с размером частиц лессов. Преобладают, при этом, частицы мелко-песчанистой и средне-песчанистой фракций. В палеопочвенном профиле обнаружены отдельные куски кремня, возможно, несущие следы обработки палеолитическим человеком. Палеопочва разреза «Генерал» может быть охарактеризована как слабо дренированная (слабо промывная) почва-гистосоль, образовавшаяся на месте заболоченной верхней поймы Пра-Москва-реки, возможно, испытавшая перемещение вследствие солифлюкционных процессов.

Ключевые слова. Квартер, поздний плейстоцен, палеопочвы, FPS-профили, палеолит, Раменское

Введение

Одним из важных аспектов изучения палеопочв (ископаемых почв или FPS-профилей: о термине см.: [Наугольных, 2019]) является установление их латеральной изменчивости, в особенности, связанной с изменением градиента высотности или влажности. Характер этой изменчивости обычно отражается в смене катениальных (=катенарных) звеньев, принадлежавших единой последовательности. К настоящему времени опубликованы данные по катенам геологического прошлого самого разного возраста, причем такие реконструкции катениальных последовательностей часто объединяют как данные собственно по палеопочвам, так и совмещенные с ними сведения о латеральной изменчивости растительных сообществ. Термин «FPS-профили» довольно широко используется геологами-стратиграфами и палеонтологами, как удобное и в целом нейтральное обозначение любых ископаемых палеопочв (см., например, [Naugolnykh, Jin, 2014; Безносов и др., 2017, 2018]; и др.).

Автор уже обращался к реконструкции позднеплейстоценовой катены, основанной на изучении серии разрезов валдайских отложений, расположенных в районе г. Раменское, а также в Раменском районе Московской области [Наугольных, 2013, 2018]. К сожалению, большинство этих разрезов представляло собой временные обнажения: строительные котлованы и траншеи под коммуникации. Практически все они в настоящее время недоступны для повторных наблюдений, хотя снова вскрыть плейстоценовые отложения в указанном районе технически достаточно просто.

Счастливым исключением служит разрез верхнеплейстоценовых отложений, расположенный недалеко от с. Новое, находящегося в пределах

муниципального образования г. Раменское, к юго-западу от с. Первомайка, по северо-восточному берегу озера Генерал (оз. Генеральское). Разрез представляет собой обнажение, приуроченное к обрыву второй террасы р. Москвы, максимальной высотой около 10 м (рис. 1). Наиболее представительное обнажение расположено в самой восточной части разреза, в 50 м к востоку от д. 28 по ул. Восточной; GPS координаты 55.547558, 38.182779. Разрез сложен преимущественно песками с ожелезненными прослоями. В верхней части обнажения обнаружен палеопочвенный профиль, характеристике которого и посвящена настоящая статья. С четырех уровней разреза (подробнее см. ниже), включая палеопочву, были отобраны образцы для аналитических исследований.

Аналитические данные по гранулометрии изученных отложений и палеопочвенного профиля

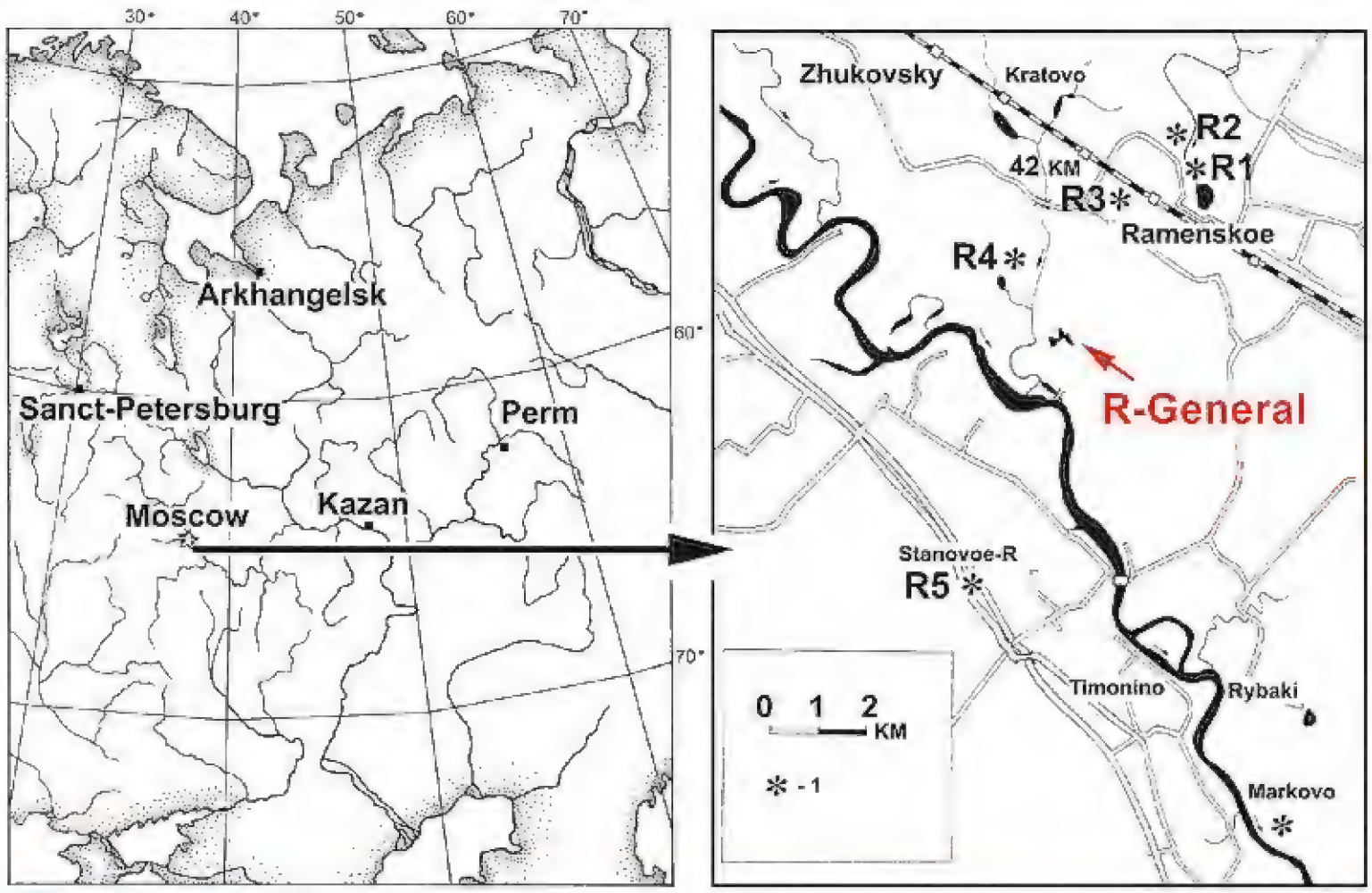


Рис. 1. Географическое расположение разреза «Генерал» (вверху); общий вид на западную часть разреза (внизу)

Fig. 1. Geographical position of the "General" section (upper); view on the western part of the section (below)

были получены в Лаборатории палеоархивов природной среды Института Географии РАН (г. Москва). Были отобраны образцы (навеска около 150 г. для каждого образца), которые из полевых зип-пакетов были перенесены в пробирки и далее были обработаны 4% раствором пирофосфата натрия. Далее образцы в течение одного часа были подвергнуты диспергированию с последующей обработкой ультразвуком (100 секунд). Измерение гранулометрического состава полученной суспензии было произведено в приборе Mastersizer 3000 по протоколу Фраутофер.

Геологический очерк

Как уже было отмечено во Введении, изученные отложения представляют собой, преимущественно, пески, в верхней части которых расположен палеопочвенный профиль (рис. 2, 3). Палеопочва также перекрыта песками, литологически сходными с песками подстилающими палеоповенный профиль, но не идентичными им. Для удобства описания разреза верхние надпалеопочвенные пески цитируется как «верхняя пачка», палеопочва – собственно, как «палеопочва» или «палеопочвенный профиль» («FPS-профиль»), а нижние подпалеопочвенные пески – как «нижняя пачка». В перспективе предполагается обеим пачкам дать собственные названия, образованные от местных географических топонимов. Палеопочвенный профиль, по мнению автора, соответствует верхнеплейстоценовой раменской палеопочве [Наугольных, 2013, 2018], имеющей пост-брянский возраст. Описание разреза приведено сверху вниз.

Верхняя пачка. Верхняя пачка представляет собой хорошо выдерживающийся по простиранию и наблюдаемый на протяжении 100 м слой песков желтовато-охристого цвета, среднеслоистых, от тонко- до среднезернистых, преимущественно, кварцевых с небольшой примесью полевых

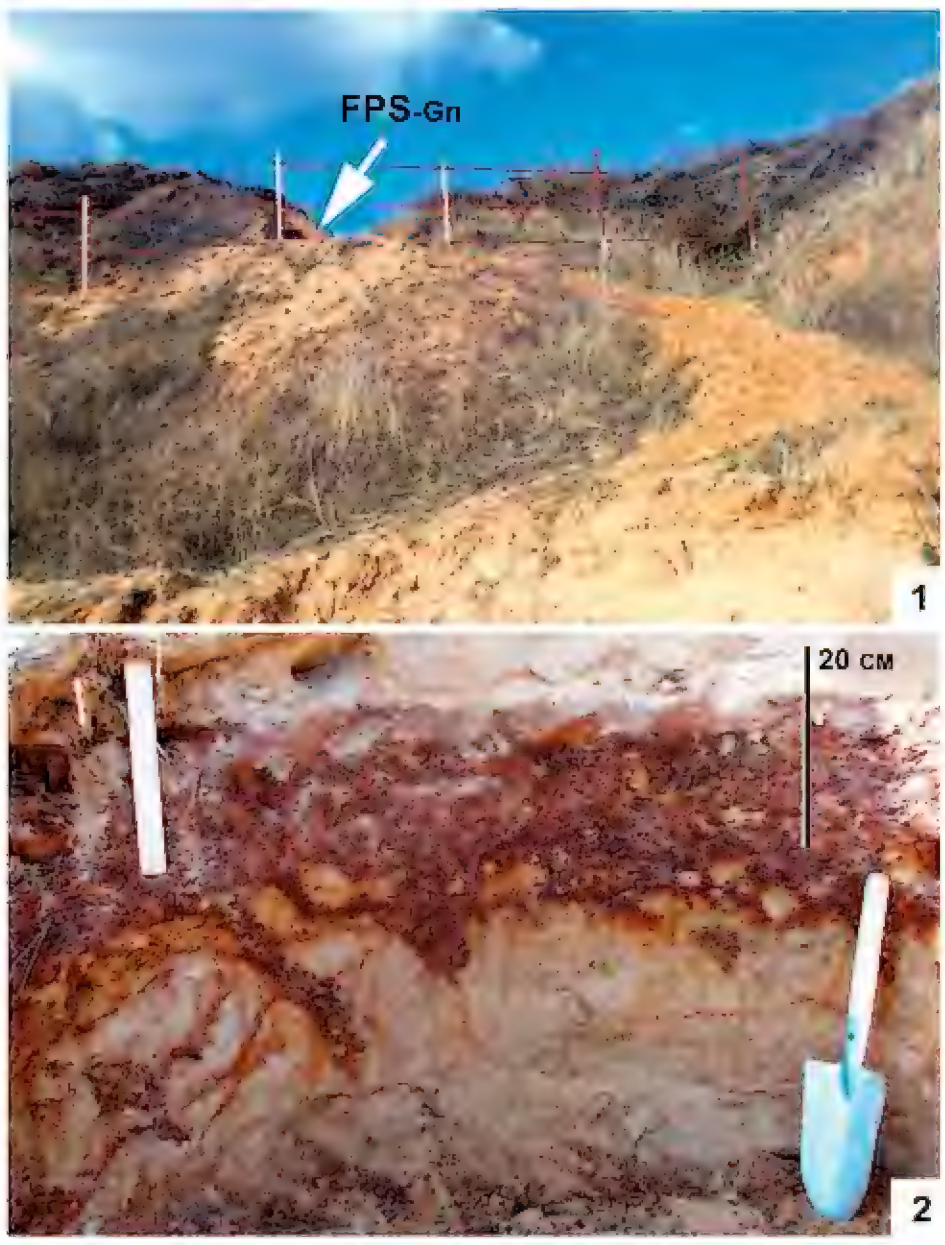


Рис. 2. Верхнеплейстоценовая палеопочва FPS-Gn разреза «Генерал». 1 – разрез, включающий палеопочвенный профиль FPS-Gn, расположение которого отмечено стрелкой; 2 – палеопочвенный профиль FPS-Gn

Fig. 2. The Upper Pleistocene paleosole FPS-Gn in the General section. 1 – the outcrop containing paleosol profile FPS-Gn marked by an arrow; 2 – the paleosol profile FPS-Gn

Рис. 3. Уровни отбора проб в разрезе «Генерал», содержащем верхнеплейстоценовую палеопочву FPS-Gn; номера мест взятия образцов соответствуют номерам проб на рис. 4 (Ген-1; Ген-2; Ген-3; Ген-4)

Fig. 3. The levels of collected samples in the "General" section, containing paleosol profile FPS-Gn; the numbers of the sample collecting places correspond to the numbers of the samples on Fig. 4 (Gen-1; Gen-2; Gen-3; Gen-4)

шпатов и алюмосиликатов. Толщина отдельных слойков может несколько варьировать в пределах обнажения. Присутствуют линзовидные прослои. Наблюдаемая мощность слоя в среднем составляет около 40 см. Сверху над верхней пачкой расположена современная почва. В слое наблюдаются отчетливые ожелезненные прослои мощностью от 1–1,5 см в нижней части пачки до 0,5 см в верхней части пачки, причем расстояние между соседними ожелезненными послоями в нижней части пачки составляет 6–7 см, а в верхней части пачки – 2–3 см. Ожелезненные прослои, описанные выше, очень сходны с «поясковыми» структурами, ортштейнами и ортзандами, отмечавшимися и для других верхнеплейстоценовых отложений Русской равнины, например, в бассейне р. Десны [Гаврилов и др., 2019].

В пачке изредка встречаются вертикальные цилиндрические каналы шириной около 1,5–2 см и длиной 6–7 см. Каждый канал начинается в ожелезненном прослое и, затем, погружается вниз, как правило, не достигая следующего (нижележащего) ожелезненного прослоя.

Палеопочва. Под верхней песчаной пачкой с неровной, но отчетливой границей залегает палеопочва. Мощность палеопочвенного профиля варьирует даже в пределах небольшой вкрыши (около 1 м по простиранию) от 20 см до 40 см. Это связано с тем, что нижняя граница палеопочвы осложнена выпячиваниями и заплывами в нижележащий слой, т.е. в пески нижней пачки. Палеопочва сложена вторично ожелезненной глиной (подробнее см. ниже в «Сравнительном анализе…»). На макроморфологическом уровне хорошо заметна комковатая структура палеопочвы, образованная отдельными агрегатами (здесь и далее по предложению Ю.А. Лаврушина они условно называются криопедонами) относительно изометричных пропорций, с неровной бугристой поверхностью. Размер криопедонов варьирует от 0,5 см до 3 см по наибольшему измерению. В палеопочвенном профиле наблюдаются редкие песчаные включения также изометричных или, реже слегка уплощенных очертаний, с неровными «рваными» краями. Размер таких включений обычно не превышает 4–5 см по наибольшему измерению, при этом более крупные включения приурочены к нижней части профиля. В профиле регулярно встречаются углистые включения, а также отдельные кусочки кремня, кварцита и окременных известняков разного цвета. В среднем, один кусочек кремня или кварцита попадается на один кубический дециметр породы. Размер и форма кусочков кремня и других встреченных в палеопочве горных пород варьируют в относительно широких пределах: от 1 см до 8–9 см по наибольшему измерению. Данные изучения гранулометрии палеопочвенного профиля и вмещающих его отложений разреза Генерал приведены на рис. 4. Значительная часть частиц, слагающих палеопочву, имеют пылеватую размерность и сопоставима с размером частиц лессов. Преобладают, при этом, частицы мелко-песчанистой и средне-песчанистой фракций.

По мнению Ю.А. Лаврушина, с которым вполне солидарен автор статьи, наблюдающиеся неровности как на верхней поверхности палеопочвенного профиля, так и в его нижней части, могут быть объяснены явлениями солифлюкции, сопровождавшимися перемещением профиля вниз по склону вследствие повторного последовательного промерзания и оттаивания всей толщи, содержащей палеопочву. Не исключено, что в зонах высокой склоновой динамики, часть палеопочвы преобразовывалась в перемещенный педоседимент или даже грязевой поток. Этим же предположением можно легко объяснить неравномерное распределение кусков кремня в палеопочвенном профиле. Возможность таких масштабных склоновых деформаций и солифлюкционных перемещений уже отмечалась в литературе [Лаврушин и др., 2015].

Нижняя поверхность палеопочвенного профиля очень неровная, бугристая, с отчетливыми выпячиваниями в нижележащие пески, причем эти выпячивания имеют лентовидную форму, могут ветвиться несколько раз, образуя трехмерную сеть (рис. 5). Ширина отдельных наиболее крупных выпячиваний составляет 3–4 см. По мнению автора, выпячивания представляют собой замещенные окислами и гидроокислами корни высших растений, произраставших в этом месте в момент функционирования палеопочвы.

Установить отчетливые генетические горизонты в пределах данного палеопочвенного профиля очень трудно. Некоторая вертикальная анизотропия, очевидно, имеющая педогенную природу, наблюдается. В самой верхней части профиля криопедоны более плотно прилегают друг к другу, песчаные включения в этой части палеопочвы практически отсутствуют. В средней части профиля начинают появляться песчаные включения; здесь же содержится максимальное количество кремней и других обломков горных пород. И, наконец, в нижней части профиля присутствуют наиболее крупные песчаные включения и хорошо развитые выпячивания, проникающие в нижнюю песчаную пачку. Однако дать непротиворечивую генетическую интерпретацию этой анизотропии пока затруднительно. Предположительно, самая верхняя часть профиля содержала максимальное количество $C_{орг}$, позднее в ходе диагенетического преобразования замещенного окислами и гидроокислами железа. Включения чистого угля можно

Размер (μ	% Объем В	от	до	Ген-1	Ген-2	Ген-3	Ген-4
0,01	0	мкм 0,01	0,0126	0	0	0	0
0,0126	0	0,0126	0,0158	0	0	0	0
0,0158	0	0,0158	0,02	0	0	0	0
0,02	0	0,02	0,0251	0	0	0	0
0,0251	0	0,0251	0,0316	0	0	0	0
0,0316	0	0,0316	0,0398	0	0	0	0
0,0398	0	0,0398	0,0501	0	0	0	0
0,0501	0	0,0501	0,0631	0	0	0	0
0,0631	0	0,0631	0,0794	0	0	0	0
0,0794	0	0,0794	0,1	0	0	0	0
0,1	0	0,1	0,126	0	0	0	0
0,126	0	0,126	0,158	0	0	0	0
0,158	0	0,158	0,2	0	0,11	0	0
0,2	0	0,2	0,251	0	0,2	0	0
0,251	0	0,251	0,316	0	0,29	0	0
0,316	0	0,316	0,398	0	0,42	0,05	0
0,398	0	0,398	0,501	0	0,6	0,14	0
0,501	0,08	0,501	0,631	0	0,86	0,2	0,08
0,631	0,16	0,631	0,794	0,09	1,21	0,25	0,16
0,794	0,2	0,794	мм 1	0,15	1,66	0,31	0,2
1	0,24	1	1,26	0,17	2,19	0,37	0,24
1,26	0,26	1,26	1,58	0,18	2,74	0,41	0,26
1,58	0,26	1,58	2	0,18	3,19	0,43	0,26
2	0,25	2	2,51	0,17	3,46	0,44	0,25
2,51	0,22	2,51	3,16	0,15	3,55	0,42	0,22
3,16	0,21	3,16	3,98	0,14	3,46	0,41	0,21
3,98	0,2	3,98	5,01	0,14	3,28	0,42	0,2
5,01	0,21	5,01	6,31	0,14	3,01	0,43	0,21
6,31	0,21	6,31	7,94	0,13	2,63	0,44	0,21
7,94	0,2	7,94	10	0,05	2,16	0,41	0,2
10	0,16	10	12,6	0	1,64	0,36	0,16
12,6	0,13	12,6	15,8	0	1,19	0,31	0,13
15,8	0,16	15,8	20	0,1	0,89	0,34	0,16
20	0,26	20	25,1	0,15	0,72	0,45	0,26
25,1	0,37	25,1	31,6	0,16	0,66	0,59	0,37
31,6	0,38	31,6	39,8	0,06	0,67	0,64	0,38
39,8	0,17	39,8	50,1	0	0,7	0,49	0,17
50,1	0,01	50,1	63,1	0	0,59	0,4	0,01
63,1	0,32	63,1	79,4	0	0,37	1,03	0,32
79,4	2,4	79,4	100	0,04	0,3	3,21	2,4
100	7,73	100	126	1,21	0,95	7,4	7,73
126	15,64	126	158	6,68	3,06	12,96	15,64
158	21,54	158	200	15,45	6,42	17,24	21,54
200	22,05	200	251	22,92	10,01	18,43	22,05
251	16,56	251	316	24,2	12,19	15,81	16,56
316	8,14	316	398	17,99	11,66	10,33	8,14
398	1,27	398	501	8,17	8,2	4,37	1,27
501	0	501	631	1,21	4,01	0,5	0
631	0	631	794	0	0,73	0	0
794	0	794	1000	0	0	0	0
1000	0	1000	1260	0	0	0	0
1260	0	1260	1580	0	0	0	0
1580	0	1580	2000	0	0	0	0
2000	0	2000	2510	0	0	0	0
2510	0	2510	3160	0	0	0	0
3160							

Результат		Результат				
Концентр	0,09%	Концентрация	0,13%	0,01%	0,05%	0,09%
Span	1,023	Span	0,927	2,355	1,348	1,023
Однород	0,328	Однородность	0,291	0,847	0,418	0,328
Удельная	125,2 m²/kg	Удельная поверхность	79,66 m²/kg	1322 m²/kg	225,2 m²/kg	125,2 m²/kg
D [3;2]	47,9 μm	D [3;2]	75,3 μm	4,54 μm	26,6 μm	47,9 μm
D [4;3]	202 μm	D [4;3]	265 μm	182 μm	206 μm	202 μm
Dx (10)	112 μm	Dx (10)	158 μm	1,55 μm	81,8 μm	112 μm
Dx (50)	196	Dx (50) МЕДИАНА	255	181	198	196
Dx (90)	312 μm	Dx (90)	394 μm	428 μm	349 μm	312 μm

	мм	1	2	3	4
Мелкая г	0,0001-0,001	0,24	5,35	0,95	0,44
Крупная п	0,001-0,005	1,13	21,87	2,9	1,64
Мелкий а	0,005-0,01	0,32	7,8	1,28	0,62
Крупный	0,01-0,05	0,47	6,47	3,18	1,63
Тонкий п	0,05-0,1	0,04	1,26	4,64	2,73
Мелкий п	0,1-0,25	46,26	20,44	56,03	66,96
Средний	0,25-0,5	50,36	32,05	30,51	25,97
Крупный	0,5-1,0	1,21	4,74	0,5	0
Грубый п	1,0-2,0	0	0	0	0
Гравий	>2,0	0	0	0	0

Рис. 4. Гранулометрическая характеристика образцов, отобранных из разреза «Генерал». Номера проб соответствуют номерам мест (уровней) взятия образцов, отмеченных на рис. 3

Fig. 4. Granulometric characteristics of the samples collected from the "General" section. Numbers of the samples correspond to the numbers of sample collecting places marked on the Fig. 3

объяснить хозяйственной деятельностью древнего человека, однако это предположение требует дальнейшего обоснования.

В предварительном плане верхнеплейстоценовый палеопочвенный профиль разреза «Генерал» может быть интерпретирован как гидроморфная, но относительно слабо дренированная (слабо промывная) почва (гистосоль), образовавшаяся на месте заболоченной верхней (высокой) поймы Пра-Москва-реки. В палеопочвенном профиле можно условно выделить следующие генетические горизонты (сверху вниз; см. рис. 5): объединенные H_1 и H_2 (histic, т.е., при образовании профиля насыщенный водой в течение более, чем одного месяца в год; предполагаемая интерпретационная характеристика генетических горизонтов здесь и далее дается по: [Цех, Хинтермайер-Эрхард, 2007]) мощностью от 20 до 40 см, Hf (histic-folic; насыщенный водой в течение одного месяца или менее) мощностью около 30–40 см, Crf (cryic–folic). Современные почвенные профили этого типа охарактеризованы в работе В. Цеха и Г. Хинтермайера-Эрхарда [Цех, Хинтермайер-Эрхард, 2007, с. 18–19].

Почвы и палеопочвы этого типа характеризуется высокими темпами накопления биомассы (мортмассы), которые превышают темпы первичной минерализации профиля. Обычно почвы этого типа характерны для бореальной зоны хвойных лесов [Цех, Хинтермайер-Эрхард, 2007]. Характерной чертой почв этого типа является высокая поровость.

Есть сходство палеопочвы разреза «Генерал» с некоторыми современными почвами бореального умеренного климата, в частности, с почвами

иллювиально-гумусно-железистыми, встречающимися в зоне развития лесотундры и тайги в пределах Восточно-Европейской платформы [Лобова, Хабаров, 1983, с. 67–68]. Судя по имеющимся данным, гистосоль разреза «Генерал» первоначально представляла собой слаборазвитый торфяник, образовавшийся на высокой пойме, состоящий, преимущественно из органики, насыщенной железистой водой с анаэробными условиями, возникшими вследствие гиперувлажненности почвы.

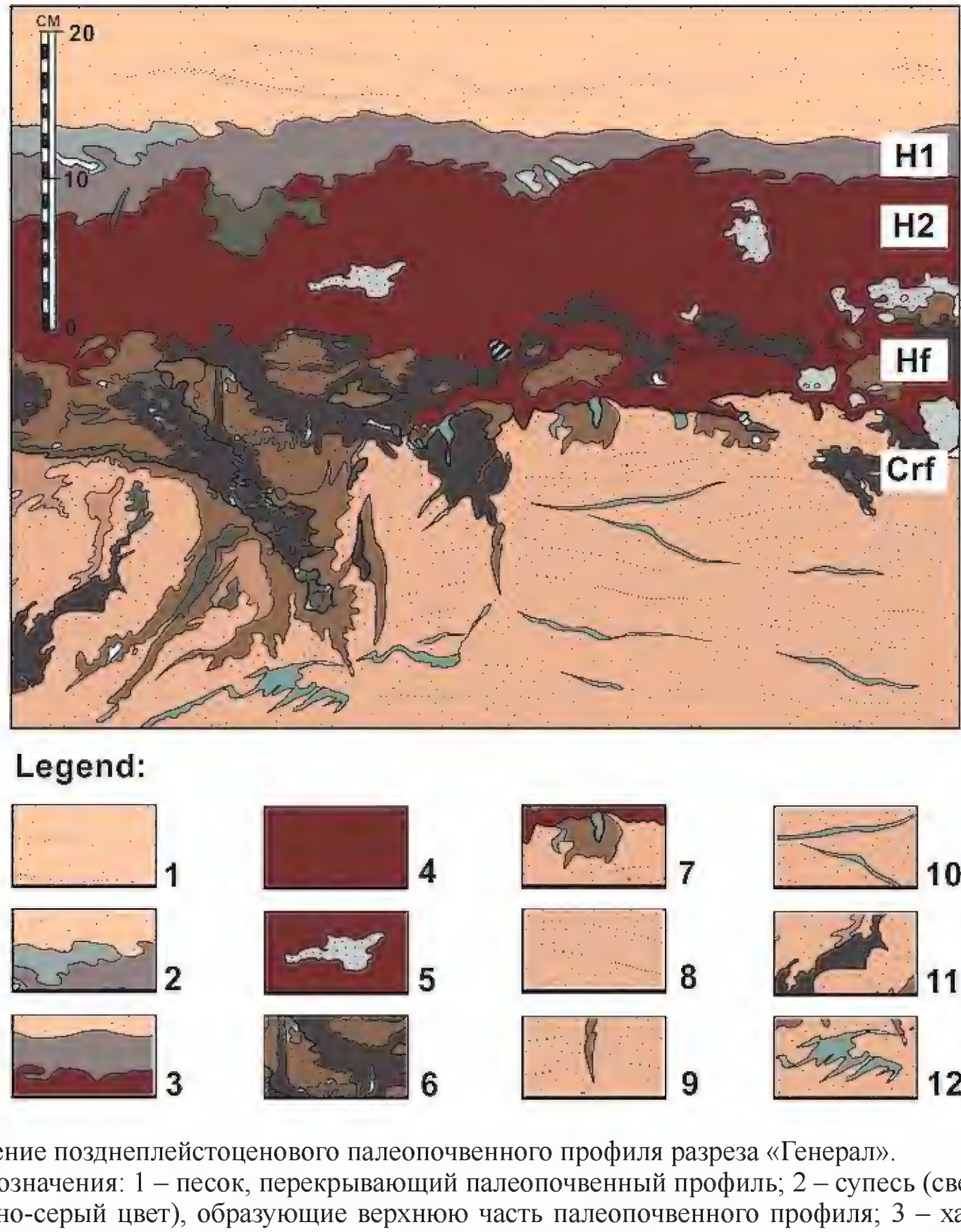


Рис. 5. Строение позднеплейстоценового палеопочвенного профиля разреза «Генерал».

Условные обозначения: 1 – песок, перекрывающий палеопочвенный профиль; 2 – супесь (светло-серый цвет) и суглинок (тесно-серый цвет), образующие верхнюю часть палеопочвенного профиля; 3 – характер перехода между генетическими горизонтами H_1 и H_2; 4 – генетический горизонт H_2; 5 – осветленные более песчанистые зоны внутри генетического горизонта H_2; 6 – генетический горизонт Hf; 7 – псевдоморфозы по древней корневой сети в генетическом горизонте Hf; 8 – песок, подстилающий палеопочвенный профиль; 9 – псевдоморфозы по древней корневой сети в подстилающих песках; 10 – линейные в сечении «поясковые» структуры; 11 – предполагаемые следы биотурбации подстилающих песков; 12 – наложенные друг на друга «поясковые» структуры.

Генетические горизонты: H1 и H2 – histic; Hf – histic-folic; Crf – cryic–folic.

Fig. 5. The Late Pleistocene paleosol of the “General” section.

Legend: 1 – sand overlaying the paleosol profile; 2 – alevrite (light grey color) and sandy clay (dark grey color), forming the uppermost part of the paleosol profile; 3 – transition between genetical horizons H_1 and H_2; 4 – genetical horizon H_2; 5 – light sandy spots inside the genetical horizon H_2; 6 – genetical horizon Hf; 7 – pseudomorphoses after ancient root systems inside the genetical horizon Hf; 8 – sand beneath the paleosol profile; 9 – pseudomorphoses after ancient root systems in the sands beneath the paleosol; 10 – “belt”-like structures with linear outlines in cross section; 11 – possible traces of bioturbation in the sands beneath the paleosol; 12 – “belt”-like structures covering each other.

Genetical horizons: H1 and H2 – histic; Hf – histic-folic; Crf – cryic–folic

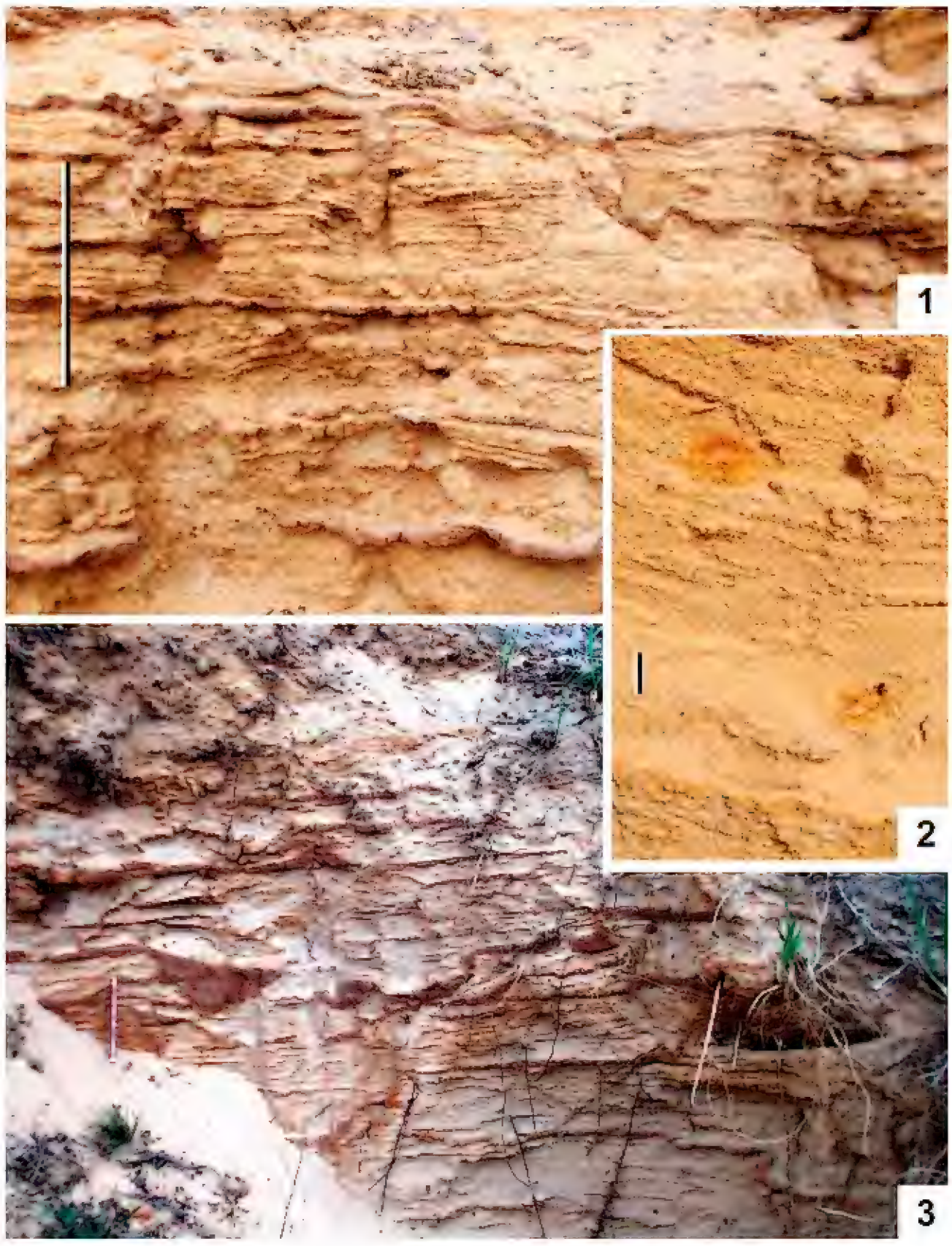


Рис. 6. «Поясковое» ожелезнение (1, 3) и лимонитовые «глазки» (2) в песках, подстилающих палеопочвенный профиль; разрез «Генерал».

Длина масштабной линейки – 10 см (для 1); 1 см (для 2). На фиг. 3 для масштаба использован карандаш

Fig. 6. "Belt"-like structures (1, 3) and limonitic "eyes" (2) in the sands beneath the paleosol profile; the "General" section.

Scale: 10 cm (for 1); 1 cv (for 2). The pencil is used as a scale for figure 3

Нижняя пачка. Нижняя песчаная пачка образует большую часть обнаженных в разрезе «Генерал» верхнеплейстоценовых отложений. Ее видимая мощность составляет в общей сложности около 8 м, но в полной мере эта пачка обнажена только в западной части разреза, непосредственно на берегу оз. Генерал. Литологически пески нижней пачки сходны с песками верхней пачки, но есть и некоторые отличия. Доминирующий цвет песков нижней пачки – светло-желтый, но на некоторых участках разреза он становится сероватым, иногда с оттенком маджента, за счет присутствия железистых прослоев. Песок нижней пачки более чистый, кварцевый, хорошо отсортированный. Судя по своим особенностям (хорошая сортировка, небольшое количество включений), песок нижней пачки может интерпретироваться как имеющий эоловое происхождение, а сами отложения, таким образом, могут рассматриваться как дюнные. Этот же вывод в отношении этих отложений был сделан С.М. Шиком (личное сообщение).

Помимо ожелезненных прослоев («поясковых» структур) в нижней пачке встречаются и ожелезнения другого типа, в форме небольших округлых изометричных включений (рис. 6).

Сравнительный анализ раменской палеопочвы по данным из разреза «Генерал»

В целом, раменская палеопочва, а точнее, ее наиболее приближенное к Пра-Москва реке катениальное звено (FPS-Gn), обнаруживает много общего с другими позднеплейстоценовыми палеопочвами Центральной России, которые часто связаны с верхнепалеолитическими памятниками [Сукачев и др., 1966; Лазуков и др., 1981; Трусов, 2002, 2011; Грибченко и др., 1997; Амирханов, 2000; Сычева, 2005, 2008, 2012; Маркова и др., 2008; Амирханов

и др., 2009; Величко, 2009; Levkovskaya et al., 2015; Hoffecker et al., 2016; Lev et al., 2018; Наугольных, 2019; Romanis et al., 2020; и др.]. Из наиболее близких современных аналогов, сходных с дистальным звеном раменской палеопочвы, следует упомянуть бореальные почвы верхней поймы с периодическим гипер-увлажнением.

При образовании почвы разреза «Генерал» первичным субстратом был песок высокой поймы, на котором накопилось относительно большое количество органического вещества, после погребения палеопочвенного профиля замещенного окислами и гидроокислами железа. В такой ситуации «гистосоль образуется при благоприятном сочетании локальных топографических и гидрологических условий, приводящих к полному насыщению субстрата водой и постепенному накоплению органического вещества» [Герасимова, 2000].

В целом, палеопочва разреза «Генерал» может быть охарактеризована как слабо дренированная (слабо промывная) почва-гистосоль, образовавшаяся на месте заболоченной верхней поймы Пра-Москва-реки. Почвенный профиль изначально образовался при относительно быстром образовании и накоплении биомассы, причем скорость накопления органических веществ существенно превышала скорость образования вторичной почвенной минерализации. Как уже было кратко отмечено выше, позднеплейстоценовый палеопочвенный профиль разреза «Генерал» был образован на минеральном песчанистом субстрате. В этой ситуации гистосоль образовалась при сочетании благоприятных палеогеографических и палеоклиматических условий, при которых произошло полное насыщение минерального субстрата водой и относительно быстрое и интенсивное накопление органического вещества, после погребения профиля преобразовавшегося в минералы, содержащие оксид железа.

Геоархеологический контекст

С раменской палеопочвой ассоциативно связаны кремневые орудия, встречающиеся в качестве подъемного материала по берегам Борисо-Глебского озера, а также в строительных котлованах и в траншеях под коммуникации. Палеопочвенный профиль разреза «Генерал» также включает отдельные находки кремней с предполагаемыми следами обработки камня древним человеком. Один из предметов, найденный непосредственно в палеопочвенном профиле, показан на рис. 7, A–E, G, H.

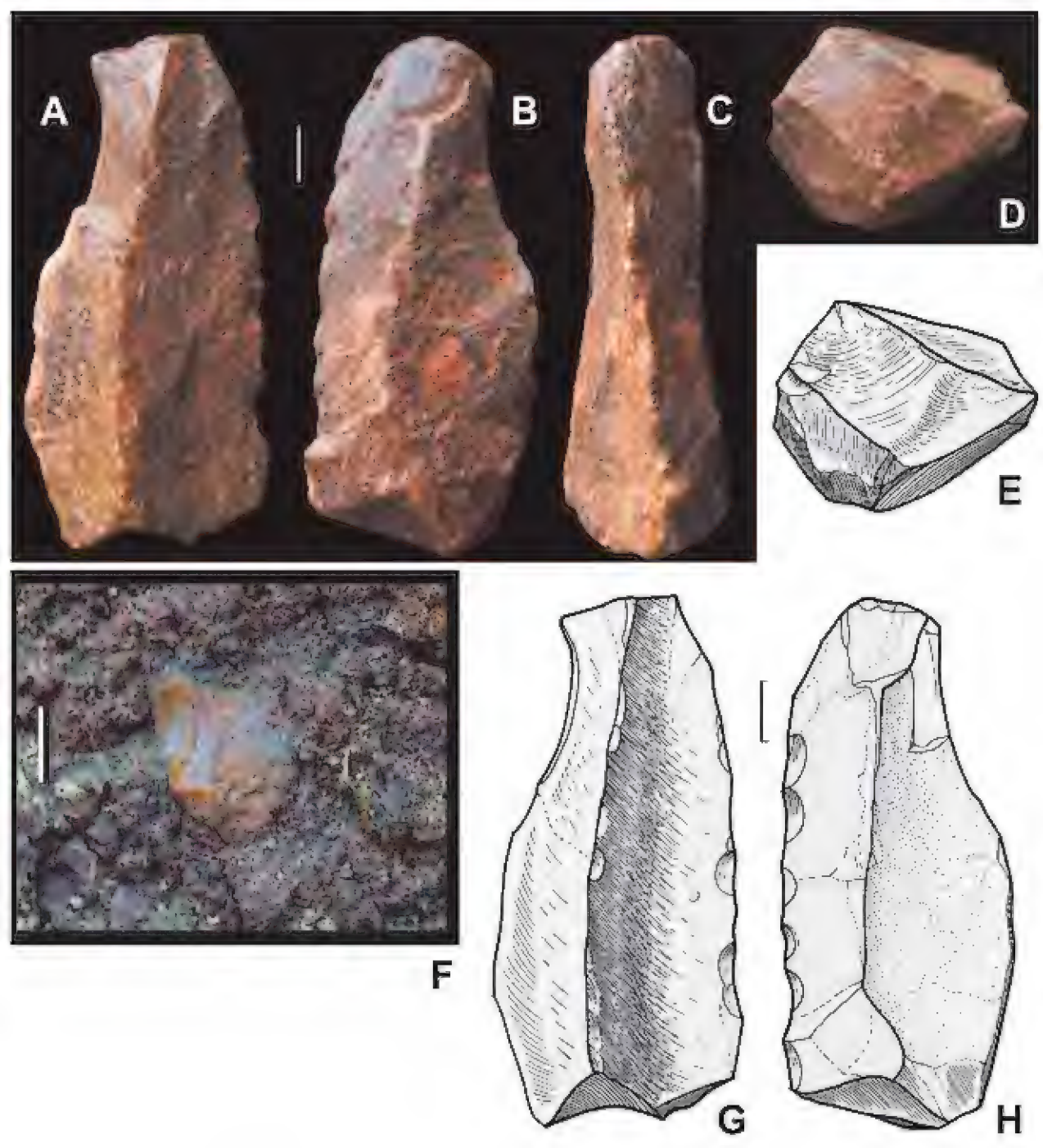


Рис. 7. Предполагаемые кремневые орудия из палеопочвенного профиля разреза «Генерал». A–E; G, H – обушковый нож; F – скребок (непосредственно в палеопочвенном профиле).

Длина масштабной линейки – 1 см

Fig. 7. Possible flint tools from the Upper Pleistocene paleosol profile of the "General" section. A–E, G, H – knife; F – scraper as it was found in the paleosol profile.

Scale is 1 cm

Предмет (орудие?) изготовлен из кремня, темно-коричневого цвета с оранжевым оттенком. Он имеет уплощенную форму, с расширяющимся основанием и искусственно притупленной верхушкой. Одна из сторон орудия представляет собой лезвие с ретушью утилизации; противоположная – искусственно притупленный обушок. Длина орудия составляет 9 см, максимальная ширина – 4 см. Таким образом, этот предмет внешне напоминает обушковые ножи и другие режущие орудия близкой морфологии, известные из многих верхнепалеолитических памятников Русской равнины (см., например, [Сукачев и др., 1966, фиг. 14, 7; Борисковский, 1984, рис. 90, фиг. 19; Аникович и др., 2007, рис. 125, фиг. 6; рис. 134, фиг. 4; рис. 135, фиг. 33]). Однако точная и адекватная интерпретация этого предмета вне археологического контекста пока не представляется возможной.

Благодарности

Автор глубоко признателен Е.А. Константинову (Институт Географии РАН, г. Москва) за помощь в получении аналитических данных по гранулометрии изученных отложений. Обсуждение представленных в статье материалов с Ю.А. Лаврушиным (Геологический институт РАН) позволило существенно улучшить первоначальную версию рукописи. Работа выполнена в рамках темы госзадания Геологического института РАН.

Литература

Амирханов Х.А. Зарайская стоянка. М.: Научный мир, 2000. 245 с.

Амирханов Х.А., Ахметгалеева Н.Б., Бужилова А.П., Бурова Н.Д., Лев С.Ю., Мащенко Е.Н. Исследования палеолита в Зарайске. 1999–2005. М.: Палеограф, 2009. 466 с.

Аникович М.В., Анисюткин Н.К., Вишняцкий Л.Б. Узловые проблемы перехода к верхнему палеолиту в Евразии. Свнкт-Петербург: Нестор-История, 2007. 336 с.

Безносов П.А., Снигиревский С.М., Наугольных С.В., Лукшевич Э.В. Позднедевонская дельта Северного Тимана: новые палеонтологические и седиментологические данные // Интегративная палеонтология: перспективы развития для геологических целей. Материалы LXIII сессии Палеонтологического общества при РАН (3–7 апреля 2017 г., Санкт-Петербург). Санкт-Петербург, 2017. С. 28–29.

Безносов П.А., Снигиревский С.М., Наугольных С.В., Лукшевич Э.В. Верхнедевонский комплекс отложений дельтовой равнины на Северном Тимане // Vestnik IG Komi SC UB RAS. 2018. No. 1. P. 25–44.

Борисковский П.И. (Отв. ред.). Археология СССР. Палеолит СССР. М.: Наука, 1984. 383 с.

Величко А.А. (отв. ред.) Палеоклиматы и палеоландшафты внетропического пространства Северного полушария. Поздний плейстоцен – голоцен. М.: Геос, 2009. 120 с.

*Гаврилов К.Н., Очередной А.К., Желтова М.И. (*ред.) Культурная география палеолита Восточно-Европейской равнины: от микока до эпиграветта. Путеводитель конференции – полевого семинара. М.: Институт археологии РАН. 2019. 204 с.

Герасимова М.И. (ред.). Почвенный справочник (перевод с фр.: И.В. Ковда). Смоленск: Ойкумена, 2000. 288 с.

Грибченко Ю.Н., Куренкова Е.И., Новенко Е.Ю. Геологические и геоморфологические особенности позднепалеолитической стоянки Зарайск // Восточный граветт. Тезисы докладов международного коллоквиума. М. 1997. 39 с.

Лаврушин Ю.А., Бессуднов А.Н., Спиридонова Е.А., Кураленко Н.П., Недумов Р.И., Холмовой Г.В. Палеозоологические катастрофы в позднем палеолите центра Восточной Европы (основы седиментолого-палеозоологической концепции возникновения кладбищ мамонтов). М.: ГЕОС, 2015. 88 с.

Лазуков Г.И., Гвоздовер М.Д., Рогинский Я.Я., Урысон М.И., Харитонов В.М., Якимов В.П. Природа и древний человек. М.: Мысль, 1981. 223 с.

Лобова Е.В., Хабаров А.В. Почвы. М.: Мысль, 1983. 303 с.

Маркова А.К., Ван Кольфсхотен Т., Бохнкке Ш., Косинцев П.А., Мол И., Пузаченко А.Ю., Симакова А.Н., Смирнов Н.Г., Верпоорте А., Головачев И. Эволюция экосистем Европы при переходе от плейстоцена к голоцену (24–8 тыс. л.н.). М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. 556 с.

Наугольных С.В. Позднеплейстоценовые (валдайские) палеопочвы окрестностей г. Раменское (Московская область): морфологические особенности и археологический контекст // Объекты палеонтологического и геологического наследия и роль музеев в их изучении и охране. Кунгур: Кунгурский историко-архитектурный и художественный музей-заповедник, 2013. С. 88–101.

Наугольных С.В. Палеопочвы верхнего плейстоцена из окрестностей г. Раменское (Московская обл.), их строение и возможная интерпретация // Бюллетень Комиссии по изучению четвертичного периода. 2018. № 76. С. 86–98.

Наугольных С.В. Зарайская позднеплейстоценовая палеопочва FPS-Z – морфологические особенности и условия образования // Бюллетень Комиссии по изучению четвертичного периода. 2019. № 77. С. 121–140.

Сукачев В.Н., Громов В.И., Бадер О.Н. Верхнепалеолитическая стоянка Сунгирь. М.: Наука, 1966. 140 с. (Труды Геологического ин-та АН СССР, вып. 162).

Сычева С.А. Погребенные позднеплейстоценовые балки // Многоликая география. Развитие идей Иннокентия Петровича Герасимова (к 100-летию со дня рождения). Под ред. чл-корр. РАН Н.Ф. Глазовского. М: Товарищество научных изданий КМК, 2005. С. 90–100.

Сычева С.А. Морфолитопедогенез в аккумулятивных и трансаккумулятивных ландшафтах как особый механизм почвенной и литогенной памяти // Память почв: Почва как память биосферно-геосферно-антропосферных взаимодействий. Глава 5. М: ЛКИ, 2008. С. 128–160.

Сычева С.А. Палеомерзлотные события в перигляциальной области Среднерусской возвышенности в конце среднего и в позднем плейстоцене // Криосфера Земли. 2012. № 4. С. 45-56.

Трусов А.В. Культурный слой Зарайской палеолитической стоянки (морфология – стратиграфический аспект) // Особенности развития верхнего палеолита восточной Европы. Спб., 2002. С. 151–159.

Трусов А.В. Палеолит бассейна Оки. М.: Репроцентр-М, 2011. 312 с.

Цех В., Хинтермайер-Эрхард Г. Почвы мира. Атлас. М.: Академия, 2007. 120 с.

Hoffecker J.F., Holliday V.T., Anikovich M.V., Dudin A.E., Platonova N.I., Popov V.V., Levkovskaya G.M., Kuz'mina I.E., Syromyatnikova E.V., Burova N.D., Goldberg P., Macphail R.I., Forman S.L., Carter B.J., Crawford L.J. Kostenki 1 and the early Upper Paleolithic of Eastern Europe // Journal of Archaeological Science: Reports. 2016. Vol. 5. P. 307–326.

Lev S.Ju., Tumskoy V., Sedov S.N., Naugolnykh S.V. Loess-like sediments over late Palaeolithic context in Zaraisk: a splash of eolian sedimentation in the terminal Pleistocene? // LoessFest2018: "Diversity of Loess: Properties, Stratigraphy, Origin and Regional Features". Volgograd, Russia, 23-29 September 2018. P. 90–92.

Levkovskaya G.M., Shumilovskikh L.S., Anikovich M.V., Platonova N.I., Hoffecker J.F., Lisitsyn S.N., Pospelova G.A., Kuzmina I.E., Sanko A.F. Supra-regional correlations of the most ancient paleosols and Paleolithic layers of Kostenki-Borschevo region (Russian Plain) // Quaternary International. 2015. Vol. 365. P. 114–134.

Naugolnykh S.V., Jin Jianhua. An Early Carboniferous flora of the Huadu locality from South China: its taxonomic composition, paleophytogeographical position and paleoecological interpretation // Acta Geologica Sinica. 2014. Vol. 88. No 5. P. 1341–1351.

Romanis T., Sedov S., Lev S., Lebedeva M., Kondratev K., Yudina A., Abrosimov K., Golyeva K., Volkov D. Landscape change and occupation history in the Central Russian Upland from Upper Palaeolithic to medieval: Paleopedological record from Zaraysk Kremlin // Catena. Available on-line: https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104873

Zech W., Hintermaier-Erhard G. Böden der Welt. Ein Bildatlas. Heidelberg, Berlin: Spektrum. 2002. 120 S.

Literature

Amirkhanov Kh.A. Zaraisk settlement. Moscow: Nauchny Mir (Scientific World), 2000. 245 p.

Amirkhanov Kh.A., Akhmatgaleeva N.B., Buzhilova A.P., Burova N.D., Lev S.Ju., Maschenko E.N. Studies of Paleolithic of Zaraisk. 1999–2005. Moscow: Paleograf, 2009. 466 p.

Anikovich M.V., Anisjutkin N.K., Vishnjatsky L.B. Key problems of transition to Upper Paleolithic in Eurasia. Sankt-Petersburg: Nestor-History, 2007. 336 p.

Beznosov P.A., Snigirevsky S.M., Naugolnykh S.V., Lukševičs E. Late Devonian delta of the Middle Timan: new palaeontological and sedimentological data // Integrative palaeontology: perspectives of development for geological aims. Proceedings of LXIII session of the Palaeontological Society of Russian Academy of Sciences (3–7 April, 2017, Sankt-Petersburg). Sankt-Petersburg, 2017. P. 28–29.

Beznosov P.A., Snigirevsky S.M., Naugolnykh S.V., Lukševičs E. Late Devonian assemblage of the deposits of the delta plain in Northern Timan // Vestnik of Institute of Geology of Komi Scientific Center of the Uralian Branch, Russian Academy of Sciences. 2018. No 1. P. 25–44.

Boriskovsky P.I. (Resp. Ed.). Archaeology of the USSR. Paleolithic of the USSR. Moscow: Nauka, 1984. 383 p.

*Velichko A.A. (*Resp. Ed.). Palaeoclimates and palaeolandscapes of non-tropical areas of the Northern hemisphere. Late Pleistocene–Holocene. Moscow: Geos, 2009. 120 pp.

Gavrilov K.N., Ocherednoy A.K., Zheltova M.I. (Eds). Cultural geography of the Paleolithic of the Eastern-European plain: from Micoquien to Epigravette. Guidebook of the Conference – Field Seminar. Moscow: Institute of Archaeology of RAS, 2019. 204 p.

Gerasimova M.I. (Ed.). Soil Directory (translation from French by I.V. Kovda). Smolensk: Oikumena, 200. 288 p.

Gribchenko Ju.N., Kurenkova E.I., Novenko E.Ju. Geological and geomorphological peculiarities of the Late Paleolithic settlement Zaraisk // Eastern Gravette. Abstracts of reports of the international colloquium. Moscow. 197. P. 39.

Lavrushin Ju.A., Bessudnov A.N., Spiridonova E.A., Kuralenko N.P., Nedumov P.I., Kholmovoi G.V. Paleozoological catastrophes in Late Paleolithic of the center of the Eastern Europe (a basis of the sedimentologic–paleozoologic concept of origin of the mammoth graves). Moscow: Geos, 2015. 88 p.

Lazukov G.I., Gvozdover M.D., Roginsky Ya.Ya., Uryson M.I., Kharitonov V.M., Yakimov V.P. Nature and Ancient Man. Moscow: Mysl, 1981. 223 p.

Lobova E.V., Khabarov A.V. Soils. Noscow: Mysl, 1983. 303 p.

Markova A.K., Van Van Kolfshoten T., Bohikke Sh., Kosintsev P.A., Mol I., Puzachenko A.Ju., Simakova A.N., Smirnov N.G., Verpoorte A., Golovachev I. Evolution of ecosystems of the Europe during transition from Pleistocene to Holocene (24–8 thousand years ago). Moscow: Collaboration of the scientific editions KMK, 2008. 556 p.

Naugolnykh S.V. The Late Pleistocene (Valdaian) paleosols of the vicinity of the City of Ramenskoe (Moscow region): morphological peculiarities and archaeological context // Objects of Palaeontological and Geological Heritage and role of museums in its study and preservation. Moscow: Media-Grand. 2013. P. 88–101.

Naugolnykh S.V. Paleosols of Upper Pleistocene of the vicinity of the City of Ramenskoe (Moscow region), their structure and possible interpretation // Bulletin of Comission for study of Quaternary. 2018. No 76. P. 86–98

Naugolnykh S.V. Zaraisk Upper Pleistocene paleosol FPS-Z – morphological peculiarities and conditions of forming // Bulletin of Comission for study of Quaternary. 2019. No 77. P. 121–140.

Sukachev V.N., Gromov V.I., Bader O.N. Upper Paleolithic settlement of Sungir. Moscow: Nauka, 1966. 140 pp. (Transactions of the Geological Institute of Academy of Sciences of the USSR, Iss. 162).

Sycheva S.A. Buried Late Pleistocene ravines // Many-faced Geography. Development of the ideas of Innkenty Petrovich Gerasimov (to 100-years anniversary of the birth date). Ed.: N.F. Glazovsky. Moscow: Collaboration of the scientific editions KMK, 2005. P. 90–100.

Sycheva S.A. Morpholithopedogenesis in accumulative and transaccumulative landscapes as particular mechanism of soil and lithogenic memory // Memory of soils: Soil as memory of biospheric-anthropospheric interactions/ Chapter 5. Moscow: LKI, 2008. P. 128–160.

Sycheva S.A. Paleofrozen events in periglacial area of the Middle-Russian uplifting in the end of Middle Pleistocene and in Late Pleistocene // Kriosphere of the Earth. 2012. No 4. P. 45–56.

Trusov A.V. Cultural layer of the Zaraisk paleolithic settlement (morphology – stratigraphical aspect) // Peculiarities of development of the Upper Paleolithic of the Eastern Europe. Sankt-Petersburg, 2002. P. 151–159.

Trusov A.V. Paleolithic of the Oka River basin. Moscow: Reprocentr-M, 2011. 312 p.

Zech W., Hintermaier-Erhard G. Soils of the World. Atlas. Moscow: Academia, 2007. 120 p.

S.V. Naugolnykh

UPPER PLEISTOCENE PALEOSOL (FPS-GN) OF THE "GENERAL" SECTION (RAMENSKOE DISTRICT OF THE MOSCOW REGION): STRATIGRAPHIC POSITION AND MORPHOLOGY

The paper deals with the characteristics of the Upper Pleistocene deposits outcropped along the North-East coast of General Lake (Generalskoe Lake) disposed on the first and second river terraces on the left bank of the Moscow River in the Ramenskoe District of the Moscow region. The preliminary description of the paleosol profile is given. The paleosol is interpreted as a distal segment of the Ramenskoe paleosol of Valdai age. The results of analytical studies of granulometric composition of the paleosol profile are discussed. A considerable part of the particles building the paleosol represents dust fraction, or is comparable with the loess fraction. Thus, the fine sand particles are dominating. Some flint stones possibly bearing traces of the Paleolithic human activity are found in the paleosol profile as well. The paleosol of the "General" section can be interpreted as restrictedly drainaged histosol, which had formed on the swampy lowlands of the Pre-Moscow River valley.

Key words. Quarter, Late Pleistocene, paleosols, FPS-profiles, Paleolithic, city of Ramenskoe.

БЮЛЛЕТЕНЬ КОМИССИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ЧЕТВЕРТИЧНОГО ПЕРИОДА
№ 81, 2023 г.

ГЛЯЦИОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОСТСЕДИМЕНТАЦИОННОГО ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЛЕНТОЧНОЙ СТРУКТУРЫ В ОТЛОЖЕНИЯХ ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ВОДНЫХ БАССЕЙНОВ В ОКРЕСТНОСТЯХ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

Ю.А. Лаврушин

Геологический институт РАН, Москва
e-mail: lavrushin09@ mail.ru

DOI: 10.34756/GEOS.2024.17.38812

В статье изложена основа разработанной гляциодинамической модели возникновения ленточной структуры в отложениях водных бассейнов в области краевых образований покровного оледенения в окрестностях Санкт-Петербурга. Ведущую роль в процессе формирования ленточной структуры в рассматриваемых отложениях играли: а) гляциодинамические напряжения, возникавшие при послойно-пластическом течении льда, и б) гляциодинамическая кинематика сдвига-скольжения края ледникового покрова. Литоиндикаторы проявления этих процессов были обнаружены в строении толщи льда в потоковых ледниках, донных моренах, крупных отторженцах, а также в мерзлых подледниковых отложениях. Литоиндикаторы, возникавшие в толще морских отложений при спаде гляциодинамических напряжений, представлены системой субпараллельных деформаций сдвига или скольжения. Преобразования происходили в повышенной барической обстановке, при теплоте трения, значительных внутрислойных проявлениях процессов сжатия и растяжения. Изложены особенности формирования темных и светлых лент. Первоначально происходило образование темных лент. Светлые ленты возникали за счет преобразования темных лент. Светлые ленты при проявлении гляциодинамических напряжений представляли собой текучие грязевые потоки, возникшие в высокой барической обстановке за счет выдавливания остаточной влаги из темных лент. Эти потоки при спаде напряжений превращались в светлые ленты. Кинематика сдвига края ледникового покрова отразилась в возникновении фации развальцованных отложений, прилежащих к подошве ледника («эффект скольжения утюга»). В этом плане под давлением движущегося края ледникового покрова происходило значительное утонение лент в ранее возникшей ленточной структуре. Возникновение ленточной структуры в рассмотренных отложениях обусловлено проявлениями разных типов гляциодинамики и является постседиментационным процессом. Предлагается выделить особую группу преобразованных гляциодинамикой отложений так называемых гляциодинамомитов.

Ключевые слова: гляциодинамика, послойно-пластическое течение льда, пластины среза или скольжения, ленточная структура отложений водных бассейнов, литоиндикаторы, гляциодинамомиты.

1. Введение

Водно-бассейновые отложения с ленточной структурой достаточно широко известны среди четвертичных образований областей материковых оледенений Европы, Азии, Северной и Южной Америки. Подобного типа образования обнаружены также среди дочетвертичных ледниковых образований. В Канаде, например, ленточные глины имеются в толще докембрийских ледниковых отложений формации гауганда, возраст которой около 2,2–2,5 млрд лет. В орогенных областях активного

проявления геодинамики подобного типа образования, не связанные с дочетвертичными оледенениями, описаны в виде мощных толщ флишевых формаций мощностью в несколько километров, некоторые части разрезов которых оказываются идентичны по типу строения ленточным глинам с их характерным варв-строением. В пределах плейстоценовых краевых областей материковых оледенений европейской части России, как и в пределах территорий соседних стран, расположенных в бореальных широтах, ленточные образования известны среди толщ краевых образований покровных оледенений разного возраста. Непосредственно нами для изучения этих образований были выбраны разрезы в окрестностях Санкт-Петербурга. Подобный выбор был сделан не случайно. Здесь расположены типичные разрезы этих образований, которые изучались рядом выдающихся отечественных и зарубежных исследователей четвертичного периода. Из отечественных ученых необходимо вспомнить о К.К. Маркове, И.И. Краснове, С.А. Яковлеве, а среди зарубежных ученых значительное внимание этим образованиям уделял финский исследователь М. Саурамо и ряд других зарубежных исследователей, посещавших Санкт-Петербург. Для разработки новых представлений о формировании ленточных образований в настоящей статье были использованы материалы сотрудников ВСЕГЕИ, которые раздавались участникам проводившейся геологической экскурсии. М. Шишов и М. Ручкин установили наличие ленточного типа строения в межледниковых морских отложениях в окрестностях г. Санкт-Петербурга. Все предыдущие исследователи связывали возникновение ленточного строения в приледниковых озерных отложениях, главным образом, с сезонными изменениями процессов осадконакопления талых ледниковых вод. Кроме того, при создании настоящей работы были привлечены ранее не публиковавшиеся материалы, полученные Ю.А. Лаврушиным в областях современного оледенения в Гренландии и на Шпицбергене, а также частично учитывались материалы гляциологов по особенностям движения потоковых частей ледниковых покровов. Обнаруженное типичное ленточное строение в **межледниковых морских** отложениях позволило говорить о постседиментационном возникновении этих структурных преобразований. Основными процессами, которые способствовали появлению ленточного строения в толщах отложений водных бассейнов, были признаны гляциодинамические напряжения и их разрядка в краевой области покровных ледниковых образований, которые возникали в ходе послойно-пластического течения льда – одного из важнейших типов движения льда. Более тонкая развальцованная структура подобных образований возникла в результате гляциодинамической кинематики скользящего края наступающего ледникового покрова. В геологических разрезах это нашло отражение в виде соответствующих литоиндикаторов – системы плоскостей среза, сопровождавших послойно-пластическое течение льда. Поскольку проявления послойно-пластического течения льда в толще потоковых ледников происходят независимо от сезонных изменений климата, устанавливать связь возникновения сезонной ленточности с палеоклиматическими событиями становится не столь уж необходимым. Гляциодинамическая кинематика сдвига в рассматриваемых отложениях возникла в результате положительного сдвига края покрова и отразилась в формировании тонкой развальцованности отложений.

В данном разделе статьи сочтено необходимом пояснить использование термина «текстура» и «структура» в последующем тексте применительно к ленточному строению толщ отложений водных бассейнов. В тех случаях, когда речь идет о существующих представлениях о седиментационном возникновении ленточного типа строения отложений используется термин текстура, когда подразумевается постседиментационное преобразование толщ водных бассейнов вследствие воздействия разного типа гляциодинамических напряжений признано более целесообразным использовать термин структура.

Таким образом**,** новизна данной работы состоит в признании образования ленточной структуры в отложениях водных бассейнов в результате постседиментационных преобразований в ходе проявлений гляциодинамических напряжений возникавших при проявлениях послойно-пластического течения льда и гляциодинамической кинематики в ходе наступательного сдвига-скольжения края ледникового покрова. Оба типа преобразований происходили в повышенной барической обстановке. Наконец, особенно необходимо подчеркнуть важность использования внутренних гляциодинамических процессов в толще льда ледникового покрова, поскольку предыдущими исследователями этот вопрос практически не рассматривался применительно к освещению основной направленности настоящей работы.

2. Материалы и методы

В настоящей работе были использованы материалы, полученные в результате изучения в 1960-х годах естественных разрезов позднеледниковых озерных ленточных глин в Приневской впадине в подмытых береговых уступах р. Невы. При этом подошва толщи не фиксировалась, поскольку в изучаемых разрезах она всегда находи-

Рис. 1. Местоположение основных разрезов, которые анализируются автором в окрестностях Санкт-Петербурга: 1 – карьер «Эталон»; 2 – район существовавших разрезов береговых разрезов и хозяйственных карьеров существовавших в 1965 г.

Fig. 1. Location of the main sections, described by the author in the vicinity of St. Petersburg: 1 – «Etalon» quarry; 2 – coastal sections and quarries operated in 1965

лась ниже уреза воды в р. Нева. По особенностям строения морских отложений в карьере «Эталон» использовались материалы предоставленные сотрудниками ВСЕГЕИ М. Шишовым и М. Ручкиным, которые раздавались участникам геологической экскурсии различных учреждений г. Санкт-Петербурга, изучающих четвертичные отложения, а также кратковременные наблюдения, которые удалось сделать при экскурсионном посещении разреза (рис. 1).

Значительную помощь в работе оказали также некоторые фотографии, которые были использованы в настоящей публикации. Кроме того, использовались данные по особенностям строения льда и специфике проявления гляциодинамики в областях современного оледенения (Шпицберген, Гренландия); по типам проявлений гляциодинамического воздействия в отложениях морен и верхней части субгляциальной литосферы в областях плейстоценовых оледенений (материалы Ю.А. Лаврушина, ГИН РАН).

В ходе исследований использовались следующие методы: метод гранулометрического анализа, результаты которого были получены во ВСЕГЕИ, изучение состава глинистых минералов (в лаборатории ГИН РАН), детальный фациальный анализ, основы разработанной концепции ледникового седиментогенеза, типы гляциодинамических преобразований в изучаемых отложениях в областях современного оледенения (материалы Ю.А. Лаврушина, ГИН РАН).

3. Основные представления о возникновении ленточной текстуры в отложениях приледниковых озерных водоемов

В отношении генезиса ленточных глин в публикациях высказаны две точки зрения: 1) это седиментационные образования озерно-ледниковых бассейнов и 2) это отложения гляциотурбидитовых потоков.

Впервые особенности «сезонного» (летнего и зимнего) осадконакопления в приледниковых озерных бассейнах были высказаны известным шведским ученым Де Геером [De Geer, 1906]. Позднее эти представления были дополнены рядом исследователей и послужили основой для разработки «геохронологического метода годичных слоев» с целью реконструкции особенностей деградации заключительных стадий распространения ледниковых покровов в различных районах (в северных и южных районах Скандинавии, Карелии, Канады и т.д.). В окрестностях Санкт-Петербурга и в Карелии исследования подобного типа проводил известный исследователь квартера К.К. Марков [Марков, 1927, 1986] и ряд других отечественных исследователей.

Накопление ленточных глин, как это первоначально постулировалось практически всеми исследователями, происходило в приледниковых озерных водоемах, возникавших в краевых частях областей четвертичных покровных оледенений. В строении отложений этих водоемов отмечается наличие двух сезонных слоев: зимнего, который образован глиной, и летнего, преимущественно сложенного материалом алевритовой фракции с примесью минеральных частиц мелкопесчаной размерности. Эти два слоя четко выделяются в разрезах не только по окраске, но также по гранулометрическому составу слагающих их минеральных образований. При этом исследователи отмечали, что между кровлей летнего и подошвой зимнего слоев фиксируется постепенный переход, а между кровлей зимнего и последующего летнего слоев отмечается наличие резкого контакта, иногда осложненного кинематодинамическими текстурами захвата, которые можно видеть в разрезах в виде остроугольных, утоняющихся по простиранию язычков «зимней» глины в отложениях летнего слоя. Основой геохронологического метода была принята годичная лента, которая состояла из совокупности летнего и зимнего слоев. Соответственно, подсчет годичных

лент позволял исследователям непосредственно перейти к геохронологическому датированию ряда гляциологических событий, возникавших во время деградации покровного оледенения [Марков, 1927; De Geer, 1912; Sauramo, 1926; Antevs, 1927]. При использовании этого метода учитывались многие возможные изменения элементов природной среды, например, изменения сезонной плотности водной массы под воздействием антициклонных ветров с поверхности ледникового покрова, резко различный сезонный режим водных потоков и, соответственно, контрастно меняющийся поток наносов, который поступал в локальные конечные бассейны седиментации, и т.д. Разработанный геохронологический метод, учитывавший «годичный тип отложений», стал достаточно популярным и иногда используется до сих пор.

Анализ публикаций по особенностям строения озерных отложений, формировавшихся в контрастно меняющихся природных обстановках, а также личные наблюдения, полученные при изучении озерных отложений различных природных зон, позволяют констатировать, что текстуры ленточного типа в них отсутствуют. Более того, в областях современного оледенения в небольших озерных приледниковых водоемах с питанием талыми ледниковыми потоками, но без заметных следов перекрытия их ледником в ближайшем прошлом, отложения ленточного типа также не были обнаружены. Возможно, это утверждение из-за фрагментарности наблюдений звучит не очень убедительно, тем не менее, это послужило одним из оснований для поиска каких-то иных механизмов возникновения ленточного типа текстур в отложениях приледниковых водоемов, расположенных в краевых частях покровных оледенений. Вторым, более важным аргументом послужили результаты изучения геологами ВСЕГЕИ четвертичных отложений в окрестностях Санкт-Петербурга. В данном районе эта группа исследователей установила, что текстуры ленточного типа имеются не только в отложениях приледниковых водоемов, но также широко развиты в толще позднечетвертичной **межледниковой** трансгрессии мгинского (эемского) моря, палеозалив которого в свое время распространился в пределы Приневской низменности. Это открытие не позволяет развивать представления о связи возникновения типичной ленточной текстуры в отложениях палеозалива межледникового эемского моря, а также в озерных приледниковых водоемах с особенностями сезонно меняющегося состава в потоках наносов талых ледниковых вод, впадавших в приледниковых водоемах позднеледниковья. В мгинское межледниковье водно-ледниковые потоки полностью отсутствовали, что позволяет практически полностью исключить климатически меняющееся бассейновое осадконакопление. Остается лишь добавить, что в свое время известный финский исследователь М. Саурамо [Sauramo, 1926] пытался объяснить возникновение ленточной текстуры в морских отложениях эемской трансгрессии седиментационными процессами в южной береговой зоне Финляндии. Однако высказанные им идеи о роли морского седиментогенеза в формировании ленточности не нашли своих последователей. Следует отметить, что в разрезах отложений эемской трансгрессии на севере европейской части России наличие ленточных образований в публикациях не отмечалось.

В дальнейшем седиментационная направленность возникновения отложений ленточного типа строения несколько изменилась. Применительно к четвертичным отложениям речь стала идти о гляциотурбидитовом осадконакоплении. Одной из основ подобного подхода, как можно полагать, явились публикации [Kuenen, 1951; Bouma, 1962] о формировании толщ флиша в реконструированных дочетвертичных геотектонически активных геоструктурах. Одним из важнейших факторов возникновения флишевых формаций, по мнению многих исследователей, был процесс осадконакопления турбидитовых потоков, которым была свойственна склоновая гравитационная составляющая [Колька, 2004; Бахмутов и др., 2009; Лаврушин, 2014; Kuenen, 1951].

В публикациях о ленточных образованиях подобный тип осадконакопления был приурочен к периферическим частям конусов выноса подводных дельт в озерных приледниковых водоемах [Колька, 2004]. При этом, в публикации В.В. Кольки в отложениях дистальной части дельты флювиогляциального потока, впадавшего в приледниковый озерный водоем, была установлена в некоторых случаях последовательность смены ритмов осадконакопления, аналогичная для дочетвертичных толщ флиша, описанных ранее [Kuenen,1951; Bouma, 1962]. Данный тип осадконакопления относится к гляциотурбидитовому типу, что предполагает все-таки первичность природы осадконакопления, связанного с талыми ледниковыми водами, и определенную зависимость состава потока наносов от сезонных изменений климата. Остается отметить, что, во-первых, ленточный тип строения четвертичных водно-бассейновых отложений распространен гораздо шире и приурочен не только к дельтовым образованиям водно-ледниковых потоков. Во-вторых, аргументация голландского исследователя представляется весьма неоднозначной, особенно при использовании ее для обоснования генезиса километровых мощностей отложений флишевых формаций.

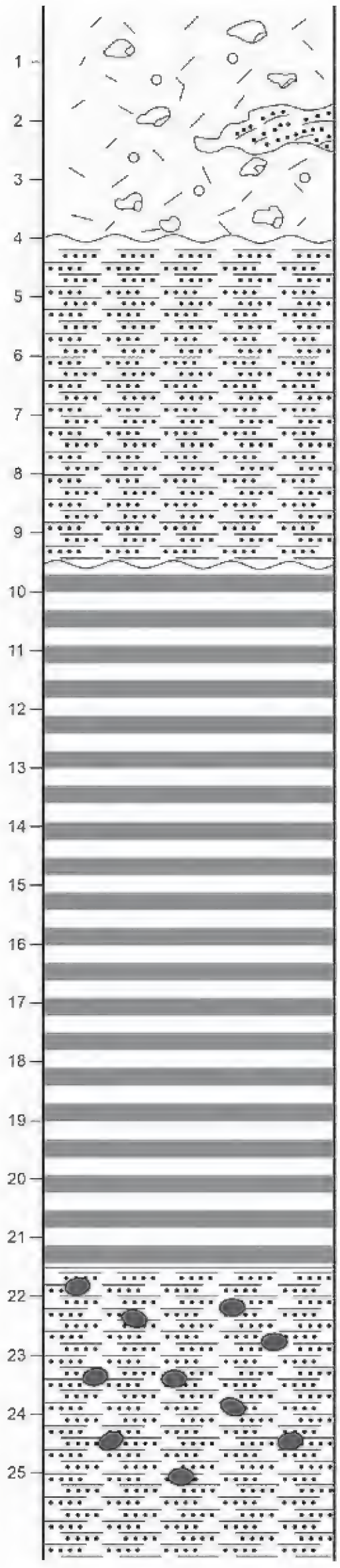
4. Влияние гляциодинамики и кинематики на строение толщ мгинских морских и озерно-ледниковых отложений в окрестностях Санкт-Петербурга (по материалам предыдущих публикаций)

Влияние гляциодинамических процессов на строение толщ мгинских морских и озерно-ледниковых отложений в окрестностях Санкт-Петербурга нам удалось обнаружить лишь в одной из просмотренных публикаций [Краснов и др., 1997]. В этой работе по материалам, полученным в ходе изучения отложений, вскрытых в карьере кирпичного завода Келколово, было установлено **чешуйчатое** строение толщи мгинских отложений, имеющих алевритоглинистый состав и содержащих фауну морских ракушек. При этом в строении чешуй принимают участие также средневалдайские отложения, представленные песками, что позволило связать процесс чешуеобразования с гляциодинамикой и кинематикой последнего оледенения. В публикации также было отмечено, что в залегании чешуй были установлены крутые углы падения (30–40°). По нашим представлениям, столь значительные углы падения гляциочешуй могут частично отражать внутреннее строение верхней части существовавшей поблизости крупной куполовидной гляциотектонической структуры, которая могла быть частично срезана движущимся ледниковым покровом.

В данной публикации отмечено также, что на бортах карьера и поблизости от него, в хозяйственных небольших карьерах, имеются небольшие разрезы, в которых было обнаружено наличие морены с отторженцами мгинских и озерно-ледниковых отложений с соответствующими складчатыми деформациями. По существу, в данном районе было установлено строение фации отторженцев донной морены последнего покровного оледенения.

5. Строение толщи четвертичных отложений, вскрытых в рабочей стенке карьера «Эталон»

В карьере «Эталон», как было показано в пояснительных записках М.В. Шитова и М.В. Ручкина (сотрудники ВСЕГЕИ), которые получили участники геологической экскурсии, наличие ленточного строения было установлено в трех толщах. В озерных отложениях, подстилающих мгинские отложения, непосредственно в мгинских морских межледниковых образованиях и в толще осадков приледникового озера времени последнего оледенения. В ходе проведенных исследований этими исследователями был произведен подсчет годичных слоев, хотя осадконакопление которых происходило в разных палеоклиматических обстановках.



1 – Донная морена осташковского ледникового покрова

2 – Ленточноподобная прерывистая структура в толще верхней части отторженца морских отложений, возникшая при воздействии гляциодинамической кинематики сдвига краем скользящего оставшеского ледникового покрова

3 – Отложения с постседиментационной ленточной структурой, возникшей при проявлениях гляциодинамических напряжений в ходе послойно-пластического течения льда в толще калининского ледникового покрова

4 – Отложения с ленточноподобной тонко наслоенной структурой, возникшей при проявлениях гляциодинамических напряжений кинематики сдвига краем калининского ледникового покрова. В толще преобразованных озерных отложений присутствуют гальки кристаллических пород и глиняные окатыши, что указывает на близость расположения моренных образований.

Рис. 2. Схема строения разреза «Эталон» (составлена по материалам М. Шишова, М. Ручкина, которые раздавались участникам геологической экскурсии)

Fig. 2. Scheme of the structure of the «Etalon» quarry section (adapted from M. Shishov, M. Ruchkin, published for participants of the geological excursion)

Таким образом, произошел отход от одного из важнейших положений, которое высказал в свое время Де Геер, создавший основу первой геохронологической концепции для выяснения продолжительности различных гляциальных событий позднеледниковий в области покровных оледенений, которую впоследствии применяли в своих исследованиях ученые многих стран.

В рабочей стенке карьера «Эталон» сотрудниками ВСЕГЕИ были выделены следующие образования: озерные отложения, позднеледниковые отложения московского оледенения, морские отложения игналинской трансгрессии, позднеледниковые озерные отложения последнего оледенения и морена последнего оледенения. В этих образованиях авторы, детально изучавшие разрез, выделяют по несколько пачек отложений, которые в настоящей статье нами не приводятся, но, важно отметить, что большинство из них не вызывают каких-либо возражений. Подобный подход был обусловлен основной ограниченностью направленность содержания настоящей статьи. Принципиально иной подход имеет наше отношение к существующей генетической интерпретации изучаемых отложений в данном районе, которое кратко изложено в заключительной части настоящего раздела. Глубина карьера «Эталон» – 34 м. Описание приводится снизу вверх по разрезу:

1. Неслоистые алевриты серо-коричневого цвета, видимой мощностью 0.18 м. Верхний контакт резкий. Условно эти отложения были отнесены к озерным образованиям времени московского оледенения. Выделено несколько пачек, были объединены в одну гляциодинамическую толщу.

Рис. 3. Раковина морского моллюска из толщи морских отложений разреза рабочей стенки карьера «Эталон» (фото С. Яковлевой)

Fig. 3. Marine mollusk shell from the marine sediments the stratigraphic section of the «Etalon» quarry

2. Толща позднеледниковых озерно-ледниковых отложений, представленных тонкослоистыми глинами и алевритами коричневого и разной интенсивности серого цвета. По преобладающей мощности первоначально выделяемых сезонных слоев (летние и зимние) в толще выделяется несколько пачек. Мощность летних слоев изменяется от 5 мм до 7,5 см, а зимних слоев от 5 мм до 3 см. В целом отмечается достаточно выдержанная закономерность, выраженная, с небольшим несогласованием, в виде уменьшения мощности выделяемых сезонных слоев снизу вверх по разрезу. Вторая закономерность этой части разреза состоит в **наличии во всех выделенных пачках уплотненных глиняных окатышей и, что очень важно, присутствие кристаллических галек**. Третья особенность строения состоит в том, что в так называемых «сезонных» слоях имеется их прерывистость. Наконец, последнее, на что необходимо обратить особое внимание, это практически полное сходство данного типа строения со строением отложений в зонах гляционадвигов, т.е. гляциоаллохтонных образований, что особенно заметно в верхней части данных отложений. Данная толща мощностью около 3 м по мнению автора настоящей статьи представляет собой типичную зону гляционадвига, возникшего в процессе движения края ледникового покрова, т.е. представляет фацию преобразованных отложений положительной динамики края покрова, в строении которой принимают участие развальцованные отложения как морских отложений, так и образований субгляциальной литосферы. При подобном подходе, «сезонные» или годичные слои, нередко имеющие прерывистость и развальцованность часто встречаются в разрезах ледниковых образований, хотя в какой-то степени бывают похожи на отложения традиционно относимые к озерным образованиям.

3. Толща преимущественно алеврито-глинистых образований морской эемской (мгинской) межледниковой трансгрессии с фауной раковин морских моллюсков (рис. 3). Важной особенностью строения данной толщи является наличие в ней ленточной структуры разной мощности так называемых годичных лент, также, как и меняющихся мощностей «сезонных» лент. Эти различия послужили одной из основ для выделения в толще морских образований, выше пачек отложений (рис. 4) в толще морских отложений. Иногда в основании в строении нижней части пачек наблюдаются нарушения в проявлении ритмики ленточной структуры, которая выражается в виде заметно возросшей мощности так называемых «летних» лент и проявлениями «обрывков» зимних лент. Мощность толщи 14–15 м.

Некоторые важные особенности строения толщи отложений, слагающих морские отложения,

рассматриваются в следующем разделе, поскольку имеют первостепенное значение для обоснования гляциодинамической модели возникновения ленточной текстуры.

4. Толща позднеледниковых озерно-ледниковых отложений времени последнего покровного оледенения. Представлена отложениями с хорошо выраженной гляциокинематической текстурой в виде развальцованных образований. при скольжении края ледникового покрова, последнего оледенения, в котором не проявлялось послойно-пластическое течение в толще льда. Мощность до 12 м.

5. Морена осташковского оледенения с крупными отторжецами.

Ниже дополнительно ограничимся двумя краткими комментариями, имеющими отношение к структуре и возрасту морских отложений. В толще 2 важным является наличие гальки кристаллических пород и глинистых окатышей, которые могут служить индикаторами проявления гляциодинамической кинематики. Поэтому данная толща представленная тонко наслоенными являются образованиями гляционадвига-гляциоаллохтона могут рассматриваться в качестве преобразованных гляцио-кинематических образований не озерного, а собственно ледникового генезиса. При подобном подходе находящуюся выше толщу морских отложений появляются основания рассматривать в качестве крупного отторженца в донной морене **калининского ледникового покрова**. Последнее замечание может повлечь проведение дополнительных исследований в данном регионе, что важно для уточнения последовательности покровных оледенений в окрестностях Санкт-Петербурга. При этом уместно напомнить, что исследователи, отрицавшие вообще данное оледенение, в последние годы признали его распространение на значительной части Валдайской возвышенности.

6. Основа гляциодинамической модели формирования постседиментационной ленточной структуры в отложениях водных бассейнах окрестностей Санкт-Петербурга

Основу модели образования ленточной структуры в отложениях водных бассейнов окрестностей Санкт-Петербурга составляют: 1) гляциодинамические напряжения, которые возникают в ходе послойно-пластического течения льда; 2) гляциокинематические напряжения, с которыми связано формирование толщи тонко развальцованных отложений верхней части субгляциальных отложений, прилежащих к подошве ледникового покрова. Возникновение этих образований происходит вследствие скольжения края ледникового покрова по прилежащей части к подошве ледникового покрова

Рис. 4. Варианты ленточной структуры: 1 – ленточная структура в одной из пачек морских отложений в средней части разреза карьера «Эталон» (фото А. Застрожнова); 2 – фрагмент «ленточно-подобной» текстуры в толще подледниковых морских отложений, преобразованных процессами гляциодинамической кинематики

Fig. 4. Options for the band structure: 1 – ribboned structure in one of the units of marine sediments in the part of the «Etalon» quarry section; 2 – fragment of a «ribbon-like» texture in the body of subglacial marine sediments transformed by the processes of glaciodynamic kinematics

отложений субгляциальной литосферы и названо нами «эффектом утюга». В результате преобразований в толщах отложений, которые сопровождаются возникновением варв-строения и исчезновением индикаторов первичной седиметационной природа происхождения, возникает особая группы гляциодинамически преобразованных отложений. Это способствовало дать этой группе отложений рабочее название *гляциодинамомиты.*

Поскольку важнейшими элементами строения рассматриваемых отложений являются двухцветные ленты, главное внимание было сосредоточено на механизме их возникновения. При этом необходимо пояснить, что для последующей краткости изложения было принято существующие ленты серовато-коричневого цвета называть темными (как это представлено на черно-белых фотографиях), а светло-серые ленты с желтоватым оттенком – светлыми лентами.

В результате анализа имеющегося материала было установлено, что возникновение лент разного цвета происходило при проявлении в определенной последовательности гляциодинамических процессов разного типа. Первоначально возникали темные ленты, создающие основу ленточной структуры. Возникновение светлых лент происходило за счет частичного (иногда почти полного) преобразования темных лент. Поэтому в настоящем разделе рассматриваются сначала гляциодинамические предпосылки возникновения первичной основы ленточной структуры, представленной темными лентами, а затем гляциодинамические предпосылки возникновения светлых лент как завершающей основы формирования двухцветной ленточной структуры. Главными факторами процессов преобразования являются: возникшая повышенная барическая обстановка и теплота трения, как результат скольжения по поверхности пластин сдвига.

Гляциодинамические предпосылки возникновения первичной основы ленточной структуры в виде темных лент

При изучении сотрудниками ВСЕГЕИ М.В. Мишиным и М.В. Ручкиным геологического разреза карьера «Эталон» было установлено наличие ленточной текстуры в толще морских отложений мгинской межледниковой трансгрессии. Эта текстура была представлена переслаиванием темных и светлых лент и мало отличалась по типу строения от ленточных образований в приледниковых озерных водоемах. По мнению многочисленных отечественных и зарубежных исследователей, возникновение этой текстуры было обусловлено сезонно меняющимся составом материала, содержащегося в потоках ледниковых талых вод, поступающих в летнее и зимнее время в приледниковые озерные водоемы.

Позднее, во второй половине XX в. и в начале нынешнего века, появились сторонники гляциотурбидитового осадконакопления. Основным фактором возникновения ленточности в пределах пологих периферических частей подводных дельт водно-ледниковых потоков признавалась гравитационная составляющая сноса возникших скоплений отложений. При этом процесс формирования ленточной структуры и выделяемых ритмов осадконакопления оговаривается таким множеством разнообразных, иногда противоречивых условий, что непосредственно сам механизм возникновения ленточности становится полностью неясным. Для нашего изложения важным остается косвенное признание седиментогенеза талых ледниковых вод сторонниками гляциотурбидитового осадконакопления в процессе возникновения ленточных образований, хотя сам механизм этого процесса остался недостаточно ясно изложенным.

Обнаружение сотрудниками ВСЕГЕИ ленточного типа строения в толще морских **межледниковых** отложений, как нам представляется, полностью опровергает высказанные соображения о связи их седиментогенеза с талыми ледниковыми водами. Это позволило говорить о **постседиментационной** природе ленточной структуры, как в морских, так и в озерно-ледниковых отложениях. Таким образом, возникла необходимость обнаружения фактора, который мог бы способствовать возникновению постседиментационной ленточной структуры в отложениях водных бассейнов. В этом отношении оказалось весьма перспективным обращение к особенностям динамики движения ледниковых покровов в краевых зонах покровных оледенений в связи с разработкой проблемы ледникового седиментогенеза. Вопрос о связи гляциодинамики ледникового покрова с возникновением ленточной структуры в отложениях водных бассейнов ранее не рассматривался ни в наших работах, ни в публикациях других исследователей, за исключением отдельных его элементов, связанных с моренообразованием, а не с возникновением ленточной структуры [Лаврушин, 1976; Шанцер, Лаврушин, 1978]. В связи с этим необходимо кратко напомнить, что важнейшими типами движения ледников являются послойно-пластическое течение льда и движение льда по плоскостям внутренних сколов. Частично эти движения ледников проявляются также и в краевых областях покровных оледенений. Кроме того, гляциокинематика в данной зоне, так же как и в других областях ледниковых покровов, нередко осложнена проявлениями других типов гляциотектоники.

В краевой области ледникового покрова выделяются следующие гляциодинамические зоны (в направлении от внутренней части покрова к его краю): а) **внутренняя гляциодинамическая зона с проявлениями послойно-пластического течения льда** активным возникновением крупных отторженцев, во внутреннем строении которых имеются деформации среза, согласные с аналогичными нарушениями в толще донной морены; б) **зона активного проявления сдвиговых внутриледовых разрывных деформаций по плоскостям внутренних сколов** в толщах моренсодержащего льда и ледовых донных моренах; в) **зона внутреннего динамического сжатия с образованием вертикальной трещиноватости и активным образованием гляциопротрузий**, с возникновением отторженцев, во внутреннем строение которых имеются деформации, **несогласные** с аналогичными нарушениями в толще донной морены; г) **внешняя зона края ледникового покрова с проявлениями динамического сдвига-скольжения, сочетающаяся с «эффектом утюга» и «эффектом бульдозерного типа». С первым эффектом отложений связан процесс возникновения близкой к горизонтальной наслоенности, заметно утоняющейся к подошве ледника. Это образования зоны надвига, отражающие надвиг ледникового края и могут быть отнесены к гляциоаллохтонным образованиям. Второй эффект обуславливает возникновение процесса выдавливания из-под края ледникового покрова верхов субгляциальной литосферы, включая ее гляциоаллохтонную часть.** К этой же зоне могут быть отнесены участки активного проявления гравитационных процессов, которые развиваются на крутых склонах края покрова при сменах динамики движения края ледниковых покровов. В пределах внешней зоны в выступающем крае ледникового покрова бывает выражен ступенчатый профиль толщи льда. Ступенчатость может отражать как внутреннее строение толщи льда, так и его гляциодинамическую расслоенность и даже различную скорость движения различных уровней толщи ледникового покрова. В настоящее время возникновение ступенчатости в краевой части ледникового покрова чаще всего связывается с абляционными процессами. По нашим представлениям, **ступенчатость края покрова – это результат гляциодинамики внутреннего строения ледникового покрова**. В этом плане необходимо не забывать, что, если даже край ледникового покрова располагается в почти южных умеренных широтах, основным климатообразующим фактором является все-таки непосредственно ледник, а не существующий «климато-широтный гипноз». Выделение в перигляциальной зоне только аналогов современных природных обстановок арктической области представляется совершенно недостаточным, поскольку обычно используются только палеоботанические данные и совершенно игнорируются результаты геолого-геоморфологических процессов. Приведем лишь один пример. В некоторых районах в краевой области покровных оледенений были обнаружены повышенные мощности флювиогляциальных образований, что объяснялось резко увеличившейся ролью абляционных процессов. Практически тот же эффект мог быть связан с некоторыми специфическими особенностями гляциодинамики, которыми обуславливаются процессы выдавливания из-под края ледового покрова мощных толщ отложений, похожих на флювиальные образования, а также с резко увеличившейся ролью так называемой «гляциодинамической» водной массы. В публикациях имеются и другие интересные примеры специфических особенностей природных обстановок геолого-геоморфологического профиля в перигляциальной зоне, которые ожидают своих исследователей [Лаврушин, 2021; Лаврушин и др., 2022].

В связи с проблемой возникновения ленточной структуры наибольшее значение имеет **внутренняя динамическая зона** края ледникового покрова, для которой характерны проявления послойно-пластического течения льда. Значимость этого типа течения льда определяется тем, что динамика его проявления сопровождается гляциодинамическими напряжениями, возникающими в результате поступления новых порций льда в данную динамическую зону края ледникового покрова. Это способствует возникновению горизонтальных градиентов давления, которые направлены в сторону меньшей мощности льда, т.е. к краю ледникового покрова. При этом важно отметить, что развитие послойно-пластического течения льда происходит вследствие возрастания гляциодинамических напряжений, а завершается возникновением пластической деформации сдвига, которая отражает **процесс спада** возникших напряжений. Естественно, это происходит при достижении гляциодинамическими напряжениями некоторого предела, когда в толще льда в результате **разрядки** возникших напряжений возникают плоскости среза, по которым происходит развитие деформации пластического сдвига, т.е. скольжения (рис. 5). Развитие деформации сдвига приурочено к наиболее пластичным нижним участкам льда, которые подвергались наибольшей вертикально-сдвиговой нагрузке, т.е. к нижним частям толщи льда. В связи с различной интенсивностью проявления гляциодинамических напряжений, возникающих **в ходе послойно-пластического течения**

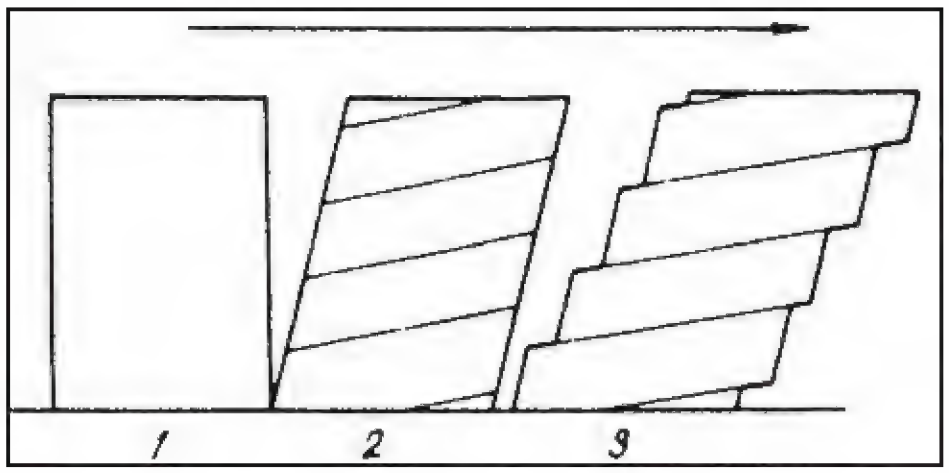


Рис. 5. Схема развития деформации пластического сдвига в условной вертикальной призме льда и образование поверхностей среза и скольжения.

1, 2, 3, стадии развития процесса (стадии 1, 2 происходят одновременно) [Шанцер, Лаврушин, 1978]

Fig. 5. Scheme of the development of plastic shear deformation in a conventional vertical prism of ice and the formation of shear and sliding surfaces.

1, 2, 3, stages of process development (stages 1, 2 occurred simultaneously) [Schanzer, Lavrushin, 1978]

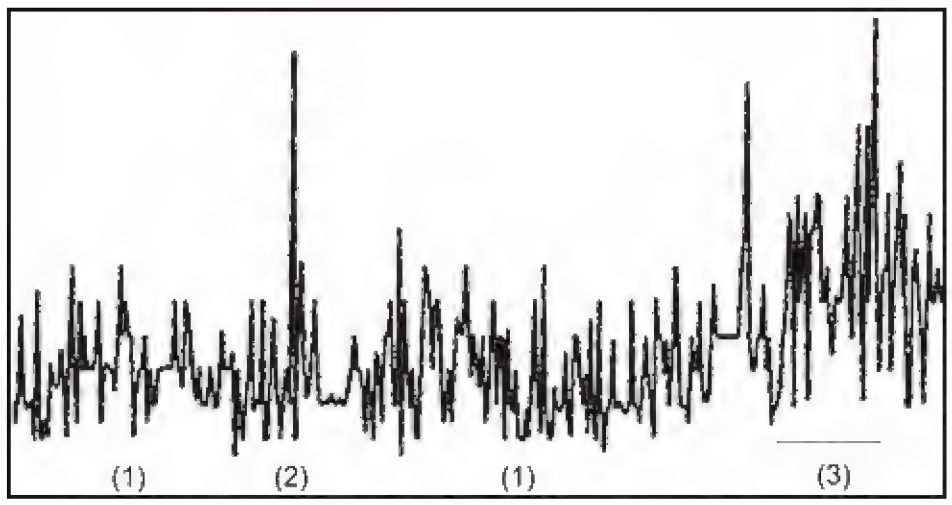


Рис. 6. Условная схема развития гляциодинамических напряжений в толще льда в процессе пластического течения льда: импульсного (1), ударного (2) и сдвоенного (3) ударного типов

Fig. 6. General scheme of the development of glaciodynamic stresses in the ice mass during plastic flow of ice: impulse (1), shock (2) and doubled (3) impact types

льда, выделяются деформации пластического сдвига импульсного типа и деформации пластического сдвига ударного типа (рис. 6).

Гляциодинамические напряжения импульсного типа вызывают в толще льда двигающихся ледников возникновение деформаций пластического сдвига. Эти деформации представлены системой субпараллельных плоскостей срезов, образующих в толще льда ледников плитчатое строение, которое является, по нашим представлениям, основой возникновения ленточной структуры. **В рассматриваемых морских отложениях** данный тип деформаций представлен системой субпараллельных плоскостей сдвига, создающих полосчатость в толще, состоящую из темных полос или лент. Поскольку возникшие полосы или ленты ограничены плоскостями сдвига, имеется достаточно оснований для того, чтобы рассматривать их возникновение в связи с проявлением гляциодинамических напряжений импульсного типа. Более того, возникновение темных лент является одной из важнейших основ процесса первоначального возникновения ленточной структуры.

Деформации пластического сдвига импульсного типа, отражающие процесс спада гляциодинамических напряжений данного типа, являются надежным лито-индикатором проявления послойно-пластического течения льда. Эти индикаторы обнаружены в виде сети плоскостей сдвига или среза в толще льда потоковых частей ледников, образующих пластинчатое или сланцеватое строение; имеются в мореносодержащем льде, в некоторых типах плейстоценовых донных морен, крупных отторженцах, сложенных преимущественно однородным алеврито-глинистым материалом.

В разрезах бортов русел ручьев, частично прорезающих толщу льда на поверхностях краевых частей выводных ледников Шпицбергена, пластинчатость толщи льда была представлена пластинами мелкопузырчатого, мутного льда мощностью 2–4 см, замусоренного мелким минеральным материалом. Редко между пластинами встречались прослойки чистого льда, толщина которых составляла всего первые миллиметры. В аналогичных разрезах выводных ледников (вблизи пос. Фредериксхоб, Гренландия) подобная пластинчатость в строении льда проявлялась повсеместно, а различия в мощности пластин, при наших несистематических наблюдениях, достигали иногда 10 см и больше. Образование пластин или плитчатости в толще льда отражает процесс возникновения деформаций пластического сдвига, т.е. разрядки-спада возникавших гляциодинамических напряжений импульсного типа. в результате возникает плитчатость толщи льда. На поверхности пластин редко можно было наблюдать буквально миллиметровые прослойки режеляционного льда или тонкие мазки глинистого материала, которые являются, как отмечалось, отражением процесса скольжения по поверхности возникшей пластины. Процесс скольжения происходит во внутренней высокобарической обстановке и сопровождается локальным разжижением, прилегающих к плоскости среза алеврито-глинистого материала мерзлых

Рис. 7. Деформации пластического сдвига в отторженце нижнемеловых песков в археологическом раскопе: центр г. Дмитрова (фото Ю. Лаврушина)

Fig. 7. Deformations of plastic shear in the outlier of Lower Cretaceous sands in an archaeological site: the center of the Dmitrov city

морских отложений от возникшего повышенного давления и возникновением теплоты трения, которые содействуют, как будет показано, активно проявляющимся гляциодинамическим напряжениям рассматриваемого типа. Важно отметить, что, в ходе непрерывного поступления в данную часть краевой зоны покрова толщ льда с проявлениями послойно-пластического течения льда, также оказывается не прерывистым, а постоянным. Таким образом, послойно-пластическое течение льда оказывается непосредственно связанным с возникновением деформацией пластического сдвига. Более того, как было установлено, проявления деформаций пластического сдвига импульсного типа (рис. 5, 6) имеются не только в толще льда, но и в толщах донных морен и отторженцев, сложенных однородным мелким минеральным материалом. В последнем случае подобные деформации были обнаружены не только в толще морских отложений карьера «Эталон», но и в верхней части отторженца, сложенного белыми песками нижнего мела и залегающего в морене в центре г. Дмитрова (рис. 7). Данные плоскости сдвига имели рыжеватый оттенок, что было связано с затаскиванием в них песков из четвертичных отложений. В толще морских отложений в карьера «Эталон» первоначальное преобразование гляциодинамических напряжений импульсного типа отразилось в возникновении сети субпараллельных плоскостей сдвига, которые создали сеть темных полос в полном соответствии с цветом морских отложений. При этом возникшая сеть субпараллельных полос рассматривается в качестве плоскостей скольжения. Аналогичные текстуры были обнаружены в плейстоценовых моренах, на поверхностях которых имелись индикаторы процесса скольжения в виде микроштриховки, фрагментов зеркал скольжения и в виде гофрированного микрорельефа (рис. 6).

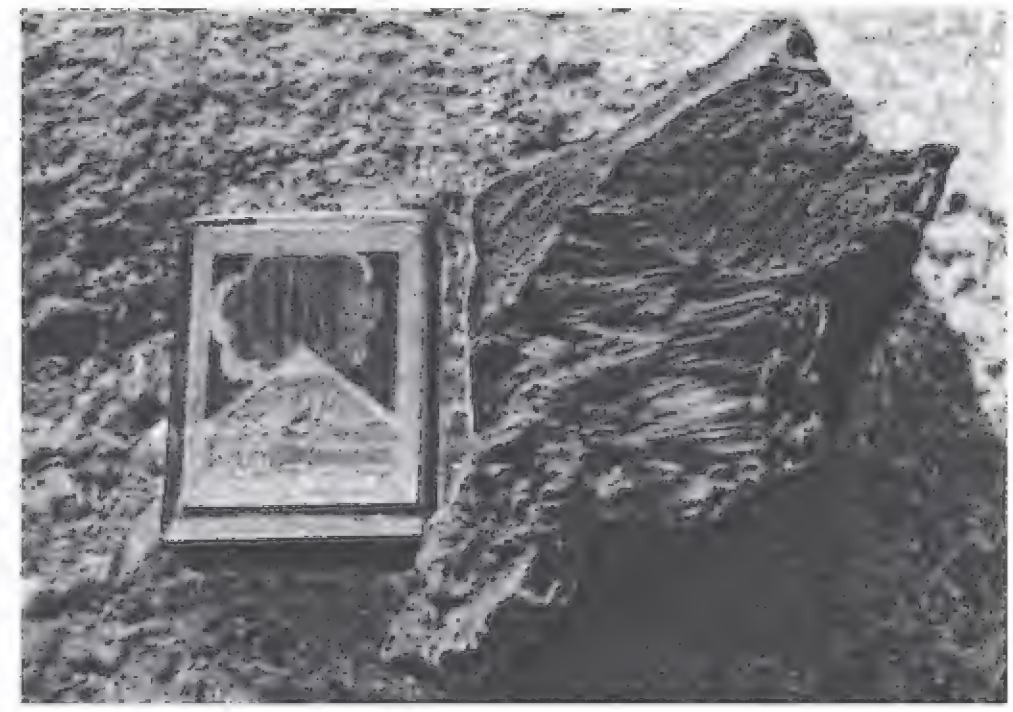


Рис. 8. Фрагмент микрогофрировки и микроштриховки на плоскостях скольжения в донных моренах в районах: 1 – береговое обнажение на оз. Онтарио (Канада); 2 – береговое обнажение р. Волга, напротив г. Углича, первый разрез ниже плотины (фото Ю. Лаврушина)

Fig. 8. Fragment of micro-goffering and micro-striae on sliding surfaces in bottom moraines in the areas: 1 – coastal exposure on the lake Ontario (Canada); 2 – coastal surface exposure of the Volga river, opposite the Uglich city, the first section below the dam

На поверхности ледников пластинчатость отражается в виде огив, изгиб которых обращен по направлению движения ледника. В свое время было установлено, что данного типа гляциодинамические текстуры оказались широко распространенными, что послужило основанием для отнесения плитчатого типа плейстоценовых донных морен к динамической фации послойно-пластического течения льда [Лаврушин,1976].

В процессе спада возникших напряжений в рассматриваемой толще морских отложений возникла сеть субпараллельных плоскостных срезов, являющихся плоскостями скольжения, создающих в толще морских отложений полосчатость, представляющие собой темные ленты. Таким образом, в пачках морских отложений **в процессе спада гляциодинамических напряжений импульсного типа происходило возникновение полосчатости в виде темных лент, контакты которых были ограничены плоскостными сдвигов**. На основе наблюдений о распространении в ледниковых отложениях проявлений гляциодинамических напряжений импульсного типа был сформулирован вывод о том, что причиной первичного возникновения ленточной структуры в данных морских отложениях были процессы рассматриваемых гляциодинамических напряжений импульсного типа, а их фиксация в толщах отложений отразилась в возникновении плоскостей скольжения при спаде напряжений. Таким образом, первичная ленточность в толще морских отложений была ограничена возникновением только темных лент в выделенных пачках отложений.

С процессом спада гляциодинамических напряжений ударного типа было связано возникновение крупных плоскостей сдвига, расчленяющих толщу морских отложений на пачки, в которых сосредоточены ленты близкие по мощности. По нашим представлениям, возникновение данного типа нарушений могло быть обусловлено наличием препятствия на участке ледникового ложа, затруднявшего послойно-пластическое течение льда. В потоковых частях ледников с ударным типом спада гляциодинамических напряжений связано возникновение блокового строения в толще льда. В возникших межблоковых полостях происходило таяние льда, образование «гляциодинамической» водной массы, а при завершении спада напряжений происходило замерзание возникшей воды и «залечивание» возникших разрывных полостей относительно мощными прослоями голубого льда, который по соответствующей классификации относится к типу режеляционного льда [Шумский, 1955]. Расположение крупных плоскостей скольжения в толще морских отложений карьера «Эталон» было использовано для расчленения их на пачки. Периодическое возникновение напряжений ударного типа в толще льда было связано с наличием препятствия на участ-

ке ледникового ложа, затруднявшего послойно-пластическое течение льда. Это вызывало повышенный рост барической составляющей в толще льда и в последующем, когда рост напряжений достигал уровня достаточного для преодоления препятствия, происходило образование более мощной разрядки напряжений, которая в крупном отторженце толщи морских отложений отражалась возникновением существенно более крупной плоскости скольжения. При этом, как отмечают геологи ВСЕГЕИ, из основания отложений, слагающих пачки, нередко «выпадают» глинистые окатыши, которые могут отражать существование также кинематической составляющей при проявлении гляциодинамических напряжений ударного типа. Пока этот момент остается на стадии констатации проявлений кинематики, поскольку требует дальнейшего уточнения направленности длинных осей окатышей.

Особенности внутреннего строения темных лент в толще морских отложений

В ходе анализа материала было установлено, что в темных лентах имеется два типа внутреннего строения. Первый тип представлен в основном **монолитным** строением ленты, нижний контакт темной ленты с кровлей светлой ленты резкий, ровный. Обычно подобный тип строения приурочен к **средним частям относительно маломощных пластин морских отложений**, в которых гляциодинамические преобразования происходили в основном при воздействии гляциодинамических напряжений импульсного типа. По нашим представлениям, основными причинами возникновения двуцветного ленточного строения морских отложений являлись: повышенная барическая составляющая и возникавшая во время скольжения по плоскости среза теплота трения. Резкий контакт между светлой и темной лентами, видимо, отражает границу распространения теплоты трения (рис. 4.1). При этом внутри пластин оказалась одинаковой мощность темных и светлых лент. Это позволяет полагать, что возникновение внутренней расслоенности в средних частях пачек отложений могло быть связано с воздействием гляциодинамических напряжений импульсного типа примерно одной мощности. Следовательно, неодинаковая по мощности пластинчатая расслоенность в различных пачках морских отложений могла быть обусловлена меняющимися по интенсивности проявлениями гляциодинамических напряжений импульсного типа (рис. 5). При подобном подходе появляются основания полагать, что возникновение меньших по мощности так называемых «годичных» пластин среза, придающих толщам льда облик приближающийся к сланцеватому типу, может соответствовать проявлению наиболее интенсивных гляциодинамических напряжений, возможно приближающихся к ударному типу.

Второй тип внутреннего строения темных лент приурочен **к нижней части** выделенных пачек, граничащих с проявлениями гляциодинамических напряжений ударного типа, т.е. прилежащих к крупным плоскостям среза соответствующего типа. В отложениях пачек, прилежащих к контактам ударного типа, необходимо отметить имеющуюся нарушенность ритмичности ленточной структуры. Это нашло отражение в заметном увеличении мощности светлых лент, частичном отсутствии темных лент или присутствии в разрезе только сохранившихся уплотненных частей темных лент, представленных однослойными полосами алевритовой щебенки (рис. 9).

Анализ типов преобразования внутреннего строения темных лент позволяет высказать мнение о том, что часть этих процессов могла происходить при значительной барической составляющей (рис. 10). На представленной фотографии видна раздробленность ленты на несколько крупных «обломков». Все «обломки» темного цвета имеют угловатые очертания и погружены в светлую «пульпу», что отражает их положение в плавающем состоянии. Представляет интерес, что так называемая «пульпа» имеет цвет, полностью соответствующий цвету светлых лент. Нижний контакт темной ленты с расположенной ниже светлой лентой достаточно четкий без видимых разрывов. Раздробленность внутреннего строения ленты, в особенности возникновение «пульпы», и даже частичная выпуклость верхнего контакта фрагмента темной ленты могли быть следствием значительного возникшего барического состояния внутри пластины. Отсюда, допускается, что возникновение «пульпы», обволакивающей крупные «обломки» внутри темной ленты, могло быть связано с процессом выдавливания остаточной влаги из темной ленты. В строении темных лент также иногда бывает заметно проявление процессов сжатия-растяжения, что находит свое отражение в виде частичного чешуйчатого строения лент, появления разрывов и даже локальных срезов скибоподобного типа. В некоторых темных лентах наблюдался своеобразный тип их разрушения. Верхняя часть ленты сохранялась частично монолитной, а нижний контакт монолитной части этой ленты, начиная примерно с середины ленты, имеет крупнозубчатый тип строения (рис. 11). Межзубовые промежутки этой ленты были заполнены крупными полуразрушенными темными «обломками» соответствующей ленты. Механизм преобразования подобного типа нижнего контакта не полностью ясен. Тем не менее, не исключено, что подобный

Рис. 9. Фрагмент внутреннего строения темной ленты, раздробленный на крупные плавающие «обломки», которые погружены в светлую пульпу, выдавленную из темной ленты при возникшей барической обстановке. Выпуклый верхний контакт темной ленты свидетельствует о существовавшем процессе сжатия (фото Бартова)

Fig. 9. A fragment of the internal structure of the dark ribbon, crushed into large floating «fragments», which are immersed in the light pulp, squeezed out from the dark ribbon under pressure conditions. The arching upper contact of the dark tape indicates the existed compression process

Рис. 10. Осветленная лента с рассредоточенными плавающими крупными обломками темной ленты (фото Бартова)

Fig. 10. Lightened ribbon with scattered floating large fragments of dark ribbon

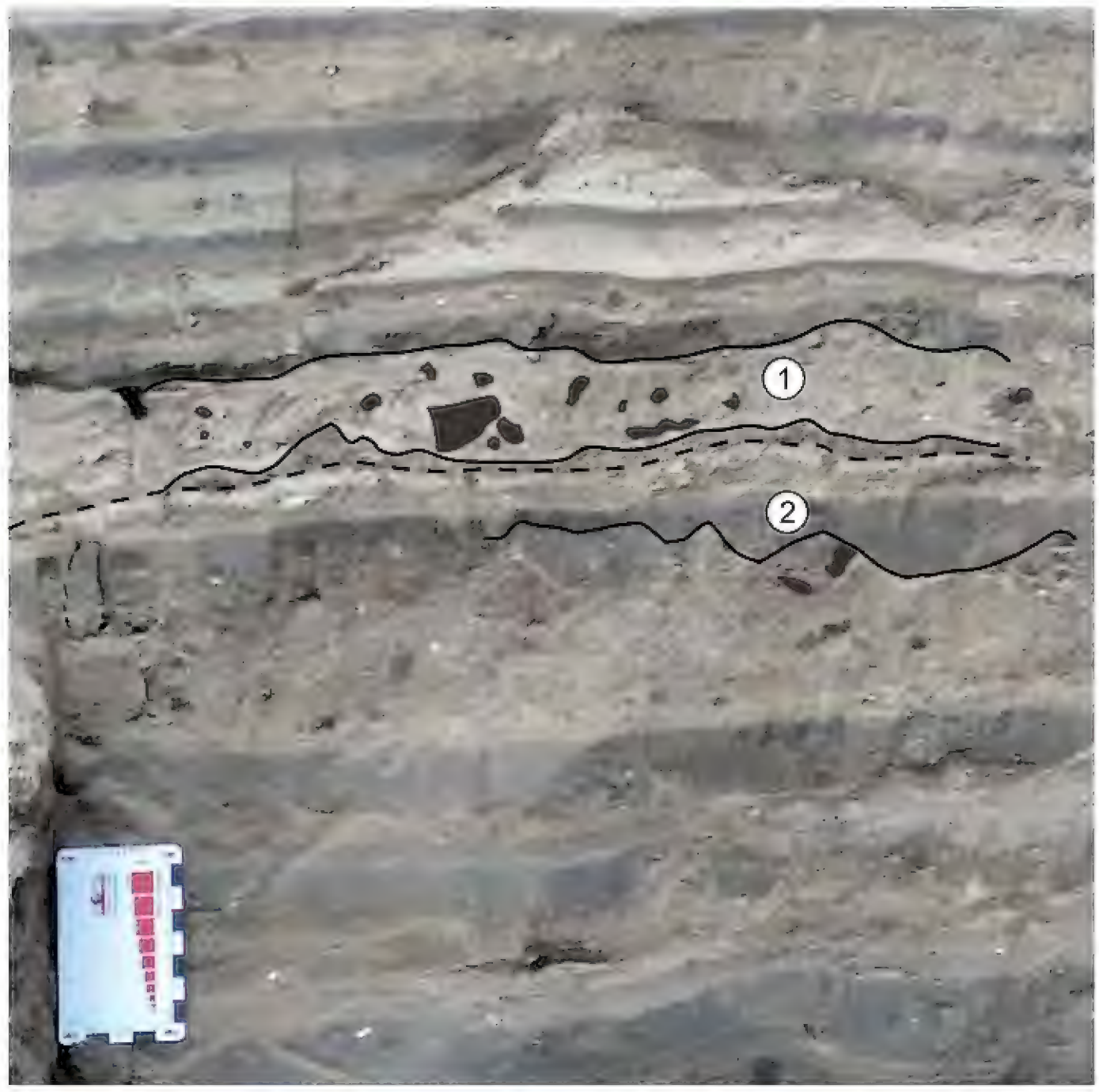


Рис. 11. Светлая полоса текущей пульпы с относительно небольшими обломками темной ленты, которая при спаде гляциодинамических напряжений превращается в светлую ленту; цифрой 2 обозначен фрагмент темной ленты, нижний контакт которой имеет пилообразный рисунок (фото Бартова)

Fig. 11. A light ribbon of pulp with floating fragments of a dark ribbon, which, with a decline of glaciodynamic stresses, turned into a light ribbon

тип контакта может отражать существовавшее расположение ледовых жилок в алеврито-глинистой темной ленте, что нередко встречается в мерзлых породах. В возникшей повышенной барической обстановке и появлении теплоты трения ледяные жилки растаяли в первую очередь и тем самым ослабили монолитность нижней части темной ленты, вызвали частичное ее разрушение и образование соответствующей формы контакта. В этом случае какую-то роль могла сыграть также кинематическая составляющая, поскольку на подобных участках встречаются (по данным сотрудников ВСЕГЕИ) выпавшие из разреза глиняные окатыши. Все изложенное позволяет высказать мнение о том, что «пульпа», обволакивающая «крупные обломки» темной ленты, является материалом, который был выдавлен из темных лент и, таким образом, может рассматриваться в качестве первичного элемента возникновения светлых лент. В этом отношении нередко в отмеченных участках выделенных пачек имеются светлые ленты, в которых имеются разного размера плавающие обломки темных лент, что подтверждает высказанное мнение о том, что возникновение светлых лент происходило за счет разрушения темных лент. При таком подходе материал, слагающий светлые ленты, является выжатым материалом в ходе преобразования темных лент. Таким образом, даже на данной стадии проведенного анализа допускается, что первоначальный состав светлых лент был представлен выжатой из темной ленты текучей светлой пульпой. При спаде гляциодинамических напряжений текучая пульпа, которая по своей консистенции скорее всего соответствовала грунтовому плывуну, прекращала свое движение превращаясь в обычную светлую ленту. Следовательно, толща морских отложений во время проявления гляциодинамических напряжений имела оригинальное строение в связи с расслоенностью текучими «прослоями» возникшей пульпы. Исследования в данном направлении могут быть

интересны для исследователей изучающих древние дочетвертичные толщи, частично близкие по своему строению к ленточной структуре, но имеющих громадные мощности в районах активного проявления геодинамики. Пока все исследования в этом направлении базируются только на учете возможных седиментационных индикаторов их возможного генезиса. При этом полностью не используются потенциальные возможности преобразований в результате проявления геодинамических напряжений, с которыми могут быть связаны постседиментационные процессы, воздействие которых может способствовать выделению принципиально новой группы геодинамических образований.

Неупорядоченные изменения в нижних частях пачек, установленные по нарушению ритмичности лент и их мощностей, были обусловлены интенсивностью проявления гляциодинамических напряжений ударного типа. Как отмечалось выше, в этих случаях иногда возникали светлые ленты повышенной мощности, а от темных лент в разрезе фиксируется лишь в наличии нескольких сохранившихся однослойных фрагментов линейного типа (рис. 11). По нашему мнению, эти полосы представляют собой сохранившиеся фрагменты исчезнувших темных лент, возможно даже вследствие вторичного ударного гляциодинамического воздействия.

Особенности строения и возникновения светлых лент; формирование ленточной структуры как вторичная основа, завершающая процесс гляциодинамических преобразований

В значительной части этот вопрос был рассмотрен в предыдущем параграфе. Поэтому здесь будет изложено лишь несколько общих положений. Возникновение в рассматриваемых морских отложениях ленточной структуры, состоящей из двух лент – темной и светлой, обусловлено чаще всего частичным, а иногда полным преобразованием возникшей ранее темной ленты. Последнее приурочено к нижним частям отложений пачек в непосредственной близости от проявления ударного типа гляциодинамических напряжений. В строении светлых лент можно видеть разноразмерные не одинаково окатанные фрагменты темных лент. Все фрагменты находятся в плавающем положении (рис. 12). Как представляется, одним из важнейших факторов, который вызывал формирование светлых лент, являлась повышенная барическая составляющая, возникшая в результате гляциодинамических напряжений. При динамическом барическом воздействии на мерзлые алевритоглинистые отложения происходило их разжижение и переход в текучее состояние. Поэтому допустимо полагать, что во время возникших нагрузок толща морских отложений была расслоена грунтовыми текучими плывунами, которые после исчезновения гляциодинамическо-барической составляющей превращались в светлые ленты.

Воздействие кинематической гляциодинамики являлось последующим, вторичным этапом преобразования, который возник во время последнего покровного оледенения в данном районе.

Таким образом, подводя итоги изложению разработанной модели формирования ленточной структуры в морских отложениях, необходимо отметить ведущую роль гляциодинамических напряжений, возникавших в ходе проявления послойно-пластического течения льда, а также проявления кинематической гляциодинамики. По существу, это послужило основанием для использования термина «гляциомодель».

Пачка отложений с разнонаправленными падениями плитчатости и плоскостей среза в толще морских отложений

Пачка отложений с беспорядочно направленными проявлениями гляциодинамических напряжений находится в основании разреза отторженца, залегает непосредственно на развальцованных отложениях фации скольжения краевой области ледникового покрова. Отложения фации представлены брекчиевидной уплотненной щебенкой преимущественно коричневого цвета, в которой имеется фауна морских моллюсков.

Важнейшими особенностями строения данной пачки являются повышенная плотность, наличие разнонаправленного крутого падения плоскостей срезов (но не ленточного типа), вплоть до почти вертикальных плоскостей разрыва. Причины столь своеобразного строения фрагмента разреза окончательно не установлены. Можно предположить, что повышенная «внутрипачковая» барическая обстановка оказалась недостаточной для возникновения ленточного строения в данной пачке отложений, которые, вероятно, уже имели повышенную плотность. Кроме того, недостаточно изученными оказались условия залегания. На некоторых участках наблюдается крутое падение намечающейся слоистости (показано стрелками на рис. 12), позволяющее предположить, что отложения данной своеобразной пачки являются срезанным фрагментом гляциокупольной структуры, расположенной поблизости и близкой по строению к гляциодиапиру. Уместно напомнить, что в начале 60-х годов прошлого столетия в данном районе проводились детальные электроразведочные исследования. В результате этих работ было установлено (личное

Рис. 12. Отложения пачки уплотненной брекчии с разнонаправленными деформациями среза (фото А. Застрожнова)

Fig. 12. Deposits of a patch of compacted breccia with multidirectional shear strain

сообщение И.Н. Модина, сотрудника геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова), что в толщах глинистых отложений в подледниковых образованиях возникают под действием гляциодинамических напряжений структуры гляциокупольного типа, имеющие наклон, совпадающий с локальным направлением движения ледникового покрова. Не исключено, что данная пачка могла быть фрагментом подобной гляциоструктуры, которая оказалась срезана движущимся ледниковым покровом.

Гляциодинамическая кинематика и ее влияние на особенности строения ленточной структуры в морских и приледниковых озерных отложениях

Предпосылкой возникновения постседиментационной ленточной структуры в отложениях водных бассейнов являлась, как уже отмечалось: гляциодинамические напряжения, возникающие в ходе проявления послойно-пластического течения льда и кинематическая составляющая гляциодина-

мики, которая находит свое отражение как в приподошвенной части толщи морских отложений, так и в их прикровельной части, контактирующей с мореной последнего оледенения. Подобного типа образования с ленточным типом строения изучались, как отмечалось, многими исследователями. Это, можно сказать, классического типа отложения приледниковых озер, которые послужили основой для обоснования возникновения ленточной структуры в связи с особенностями седиментогенеза потоков наносов, содержащихся в талых ледниковых водах. До настоящего времени есть исследователи, которые пытаются использовать разработанный на данной основе геохронологический метод. Важно отметить, что при использовании метода Де Геера негласно подразумевается, что процесс деградации является однонаправленным, т.е. ледниковый покров только отступает. Хотя уже давно установлено, что даже у деградирующих ледников и покровов имеются кратковременные подвижки наступательного типа. Так, в береговых разрезах р. Невы часто можно наблюдать толщу отложений приледниковых водоемов, перекрытых мореной последнего оледенения. Среди проявлений ленточной структуры выделено три группы. В первую группу входят проявления ленточной структуры в «приконтактных частях пачек» морских отложений и отложениях приледниковых озер. Ко второй группе относят ленточную структуру в средней наибольшей части толщи морских отложений. Третий, неупорядоченный, тип ленточности проявлен в пачках, приуроченных к плоскостям среза ударного типа. Все три группы различаются типами ленточной структуры. В первой группе мощность лент имеет четкую тенденцию к уменьшению по направлению к подошве ледникового покрова. Для лент характерна обрывистость, заметная при их прослеживании по простиранию, иногда утонение вплоть до разрыва. В этой группе проявляется развальцовка лент, что, как предполагается, является следствием процесса поступательного скольжения края ледникового покрова. При этом возникший процесс скольжения был обусловлен гляциодинамической кинематикой, повлекшей процесс скольжения края ледникового покрова по приподошвенной части отложений с проявлением так называемого «эффекта утюга». С гляциодинамической кинематикой скольжения связано возникновение тонкой ленточной структуры в приледниковых отложениях и частично в морских отложениях, нередко похожих по своему строению на отложения зон тектонических надвигов, что отражает вторичное гляциодинамическое преобразование, происходившее во время последнего и предыдущего оледенений. В этом плане, имеется достаточно оснований рассматривать ледниковый покров в качестве висячего крыла надвига или гляциошарьяжа, а возникшие отложения могут быть отнесены к гляциоаллохтонным образованиям. то касается ленточной структуры в толще морских отложений. При подобном подходе оказалось, что состав глинистых минералов из толщи гляциоаллохтона оказался полностью идентичным составу из темных лент толщи морских отложений. Это позволяет полагать, что состав пелитовой части потоков наносов талых ледниковых вод практически мог не принимать участия в формировании ленточной структуры в рассматриваемых отложениях. В связи с изложенным просто напрашивается необходимость еще раз озвучить положение о том, что привычная ленточноподобная слоистость отложений не всегда может быть однозначным литоиндикатором, свидетельствующим об озерном генезисе изучаемых отложений.

7. Обсуждение некоторых вопросов, связанных с изложенным материалом

Вполне уместным представляется обсудить два вопроса, имеющих непосредственное отношение к основной теме: 1) когда произошло возникновение ленточной структуры в толще морских отложений; 2) в какую генетическую группу осадочных образований целесообразнее всего поместить отложения, преобразованные гляциодинамическими процессами.

Когда произошло возникновение ленточной структуры в толще морских отложений эемской трансгрессии

Как известно, морские отложения эемского возраста широко распространены на севере европейской части России. Их разрезы изучались многими исследователями. Эти отложения имеют преимущественно алеврито-глинистый состав и темный цвет, который объясняется присутствием значительного количества органического вещества. Среди текстур описывалась обычно слоистость, характерная для морских отложений; и полностью отсутствуют публикации, в которых хотя бы упоминалась ленточная структура. В общем, это не удивительно. В публикациях по разрезу Эталон до недавнего времени ленточное строение также не упоминалось, хотя собранные сотрудниками ВСЕГЕИ материалы, используемые в настоящей работе, не вызывают сомнений в наличии ленточной структуры в толще морских отложений. Правда, в настоящей публикации предлагается принципиально новая модель возникновения ленточной структуры.

Возвращаясь к вопросу о времени возникновения ленточного строения, необходимо отметить,

что в основании разреза толщи морских отложений исследователи ВСЕГЕИ выделяют тонконаслоенные образования, которые условно датируют позднемосковским временем. Генезис этих образований рассматривают как озерный. Многочисленные результаты исследований ледниковых отложений в районах Северного полушария показывают, что подобного типа образования распространены достаточно широко, как непосредственно прилегающие к нижнему контакту донных морен. При этом форма нижнего контакта остается ровной, без какого-либо намека на существование котловины или озерного водоема. Более того, необъяснимым остается механизм возникновения подобного типа слоистости. Эти образования по своему строению являются типичными гляциодинамическими, возникшими при проявлении активной кинематики наступательного типа движущегося ледника и, таким образом, рассматриваются в качестве развальцованных отложений субгляциальной литосферы, прилежавшей к подошве ледникового покрова. Нахождение в этих отложениях гальки кристаллических пород только подтверждает высказанное соображение в отношении их генезиса. Таким образом, появляются основания рассматривать развальцованные образования в качестве отложений калининского оледенения, а толщу морских отложений – в качестве крупного отторженца, находящегося в морене этого оледенения. Подобный подход позволяет полагать, что ленточная структура в толще морских отложений могла возникнуть во время калининского оледенения.

Не исключено, что вторая толща развальцованных образований, перекрывающая толщу морских отложений с хорошо выраженным развальцованным типом строения, отражает вторичное преобразование во время последнего оледенения, что получило отражение в тексте настоящего сообщения.

Гляциодинамические постседиментационные осадочные образования, или гляциогеодинамомиты

Анализ рассмотренных материалов по морским и озерным отложениям показывает, что гляциодинамические процессы разного типа могут нацело преобразовывать индикаторы их первичного седиментационного генезиса. Возникшие вновь особенности строения явились результатом преобразования в ходе гляциодинамических напряжений при послойно-пластическом течении льда и кинематической гляциодинамике. Преобразования происходили в высокобарической обстановке и при возникновении теплоты трения. При этом повышенное давление в преобразуемых отложениях возникало не только при проявлении гляциодинамических напряжений, но и в ходе динамики наступающего края ледникового покрова с «эффектом утюга». В результате преобразования отложений водных бассейнов в них возникла принципиально новая структура ленточного типа, которая не могла образоваться в ходе известной триады седиметогенеза осадочных образований: мобилизация – транспортировка – аккумуляция отложений. Все изложенное в настоящей работе позволило отнести рассмотренные отложения к особой группе осадочных образований с предлагаемым названием **«гляциодинамические постседиментационные осадочные образования»**, или **гляциогеодинамомиты**.

8. Заключение

1. В результате проведенных исследований была разработана гляциодинамическая модель возникновения ленточной структуры в плейстоценовых отложениях водных бассейнов в краевых областях покровных оледенений окрестностей Санкт-Петербурга. Основную роль в процессе формирования ленточной структуры в морских отложениях играли гляциодинамические напряжения разного типа, которые возникают в ходе послойно-пластического течении льда в процессе преодоления горизонтальных градиентов давления. При спаде гляциодинамических напряжений в толще морских отложений возникали лито-индикаторы, которые были представлены системой субпараллельных деформаций сдвига или скольжения. Проявления этих процессов были обнаружены в строении толщ льда в потоковых ледниках, как в областях современного оледенения, так и в плейстоценовых ледниковых образованиях. Вторым важным элементом вторичного преобразования ленточной структуры в толщах водных отложений являлась **гляциодинамическая кинематика** сдвига-скольжения края ледникового покрова, т.е., краевой областью ледникового покрова, в которой отсутствует послойно-пластическое течение льда. Воздействие на прилегающие к подошве ледникового покрова подледниковые отложения, представленные литологически однородным песчаным или алеврито-глинистым материалом, в том числе и с уже существовавшей ленточной структурой подверглись интенсивной развальцовке, «растаскиванию», т.е., как было названо воздействию «эффекта скольжения утюга». В результате в этих отложениях возникла гляциокинематическая горизонтальная наслоенность, относимая обычно к озерным отложениям. По нашему мнению, эти образования являются гляциоаллохтонными отложениями зоны надвига, в которой край ледникового покрова был движущимся гляциошарьжем.

Все упомянутые гляциодинамические и гляциокинематические преобразования происходили при повышенной барической обстановке, не исключая воздействие теплоты трения и несомненно проявлений процессов сжатия и растяжения. Установлены особенности формирования темных и светлых лент. Первоначально при воздействии гляциодинамических напряжений импульсного типа происходило образование темных лент. Воздействие напряжений ударного типа способствовало в основном частичному, а иногда полному разрушению темных лент. За счет возникавших барических процессов происходило выдавливание из темных лент и их фрагментов остаточной влаги, которая представляла собой пульпу, создающая основу строения светлых лент. Однако первоначально пульпа представляла собой текучие осветленные грязевые потоки, которые при спаде напряжений превращались в неподвижные светлые ленты. Кинематика сдвига края ледникового покрова отразилась в возникновении фации развальцованных отложений, прилежащих к подошве ледника («эффект скольжения утюга»). В этом плане под давлением движущегося края ледникового покрова происходило значительное утонение лент, преобразование ранее возникшей ленточной структуры в ленточно подобные образования. Возникновение ленточной структуры и возникавших наслоений в рассмотренных отложениях обусловлено проявлениями разных типов гляциодинамики и являлось постседиментационным процессом. В целом, в гляциоаллохтонной толще наблюдается утонение наслоенности к подошве ледникового покрова и возникновении в ней повышенной прерывистости в так называемых «сезонных» слойках. При этом, какая-либо связь внутренней динамики ледниковых толщ с палеоклиматическими событиями не подлежит какому-либо установлению. Даже возникновение подледных водных потоков и озер допустимо полагать бывает обусловлено не столько абляционными процессами, сколько интенсивностью проявления внутриледниковых гляциодинамических процессов.

2. В ходе проведенных исследований установлено, что существующая стратиграфическая схема четвертичных отложений для рассматриваемого района требует соответствующей корректировки. В этом плане следует обратить внимание на датирование отложений, залегающих под морскими образованиями, позднемосковским (хотя и условно) возрастом. Авторы по старинки «игнорируют» калининское оледенение. Оледенение этого возраста в последние годы жизни стал признавать даже А. Величко, правда, в несколько меньшем распространении, чем полагал А. Москвитин. Тем не менее, даже при этом ограничении калининское оледенение достигало Валдайской возвышенности и частично распространялось в ее пределы. По нашему мнению, отложения подстилающие морские отложения, в которых встречаются гальки кристаллических пород являются по генезису гляциоаллохтонными образованиями калининского оледенения и, таким образом, толщу морских отложений следует рассматривать как крупный отторженец, являющийся составной частью донной морены калининского оледенения. Высказанное замечание может явиться дополнительным аргументом в необходимости проведения корректировочных исследований по существующей локальной стратиграфической схеме четвертичных отложений.

3. Гляциодинамические преобразования толщи морских и озерных отложений оказываются столь значительными, что первичные седиментологические индикаторы исчезают. Это послужило одним из оснований признания возможности выделения особой группы гляциодинамических образований или, как предлагается кратко называть эти образования – **гляциодинамомиты**.

Созданная гляциодинамическая модель возникновения ленточной структуры в четвертичных отложениях бассейновых образований может представлять интерес для последующих исследований в двух направлениях.

а) Это развитие учения о генетических типах четвертичных континентальных отложений. Основа разработанной концепции базируется на тех же положениях, которые были использованы при выяснении основы ледникового седиментогенеза. Различия состоят в том, что в понятие генетико-седиментологической триады включено рассмотрение особенностей мобилизации, транспортировки и аккумуляции вновь возникших осадочных образований. В процессе гляциодинамических преобразований рассматриваются только постседиментационные процессы преобразования ранее возникших толщ отложений.

б) Следующее направление касается исследования преобразующей роли **геодинамических** напряжений в пределах территорий активного проявления геодинамики и прилегающих к ним областям. В этих районах имеют значительное распространение мощнейшие толщи дочетвертичных осадочных образований, генезис которых постоянно обсуждается в публикациях. Обычно существующие представления о формировании этих образований базируются на использовании седиментологических индикаторов, а для отложений квартера привлекаются также палеоклиматические события. При этом существование и использование возможной преобразующей роли геодинамических преобразований различного типа в формировании этих образований обычно не учитывается. Исследования в этом направлении могли бы способ-

ствовать выделению нового типа крупной группы геодинамически преобразованных толщ осадочных образований, в которой традиционные седиментологические литоиндикаторы оказываются не достаточно четко выраженными. Как указывалось, эти преобразованные гляциодинамическими напряжениями отложения, предлагается назвать «**гляциодинамомиты**». При этом подобного типа образования не ограничиваются только рассмотренным примером в настоящей статье. В районах, в которых отсутствовали покровные оледенения, а также в областях проявления активной геотектоники и прилежащих к ним территориях могут быть распространены отложения не только четвертичного, но и более древнего возраста, со спорным генезисом. Поскольку для выяснения генезиса подобного типа образований использовались лишь литологические данные, представляется необходимым включить в исследования разного типа геодинамические процессы, которые могли играть существенную роль в преобразовании ранее возникших и возникновении новых осадочных образований, т.е. речь идет уже о **геодинамомитах** – осадочных образованиях, преобразованных проявлениями разного типа геодинамических процессов. Гляциодинамомиты могут стать частью этой большой группы геодинамически-преобразованных осадочных образований.

4. Непосредственно в последние десятилетия в особенно в зарубежной литературе, посвященной особенностям строения четвертичных отложений в областях покровных оледенений и частично в прилежащих к ним перигляциальных зонах появилось много сообщений о так называемых палеосейсмитах, возникновение которых было обусловлено возникавшими палеосейсмическими событиями. В числе лито-индикаторов этих событий описываются признаки возникновения в подледниковых несцементированных отложениях грунтовых плывунов разной консистенции, разрывных и пластических деформаций, даже иногда ленточных глин и т.д. По нашим представлениям, частично изложенным в настоящей публикации и других работах [Лаврушин,2021; Лаврушин и др.2022] все упомянутые и неупомянутые здесь лито-индикаторы возникали в отложениях так называемой субгляциальной литосферы в результате очень значительной внутренней барической обстановки и различных гляциодинамических напряжений движущегося ледникового покрова. Эти полученные данные позволяют отрицательно отнестись к выделению так называемых «сейсмитовых» событий, в пределах Дании, Швеции, ФРГ и Польше.

Благодарности. Автор благодарит младшего научного сотрудника Геологического института РАН В.В. Фомину за огромную помощь в подготовке данной работы к публикации.

Источники финансирования. Настоящая работа выполнена в соответствии с планом исследований в 2023г Геологического института РАН по госзаданию № 123032400064-7.

Литература

Колька В.В. Некоторые аспекты формирования ленточных глин на северо-востоке Балтийского щита РГО, 2004, т. 136, вып. 5, с. 69–78.

Краснов И.И., Арсланов Х.А., Казарцева Т.И., Тертычная Т.В., Чернов С.Б., Плешивцева Э.С. Опорный разрез верхнеплейстоценовых отложений в приневской низменности в карьере Келколово // Региональная геология и металлогения, 1995, № 4, с. 88–99.

Лаврушин Ю.А. Строение и формирование основных морен материковых оледенений // Труды Геолог. института АН СССР, 1976, М.: Изд-во «Наука», вып. 288, с. 237.

Лаврушин Ю.А. Основы современной концепции строения и формирования отложений краевых образований плейстоценовых ледниковых покровов.//Бюллетень Комиссии по изуч. четвер. периода. М., ГЕОС, 2021, № 79. С. 38–70.

Лаврушин Ю.А., Петрова В.В., Синицын А.А., Спиридонова Е.А. Позднепалеолитический «оазис» в окрестностях с. Костенки (Средний Дон): причины возникновения и долговременного существования // Бюллетень Комиссии по изуч. четвер. периода. М.: ГЕОС, 2022, № 80. С. 34–68.

Марков К.К. Изучение ленточных глин с геохронологической точки зрения // Природа, 1927, № 9, с. 679–696.

Шанцер Е.В., Лаврушин Ю.А. Главнейшие закономерности строения и формирования основных морен материковых оледенений // Основные морены материковых оледенений. М. Геол. ин-т РАН, Комиссия по изуч. четверт. периода, 1978, с. 27–42.

Andren T., Sohlenius G.Late. Quaternary development of the north-western Baltic proper – results from the clay – varve investigation. Quaternary International. 1995. 27. p. 5–10.

Bakhmutov V. Paleomagnetic records and chrono- and magnetostratigraphyof Late Weichselian to Early-Middle Holocene sediments of northwestern Russia // Terra Nostra. 2000. V. 10. p. 20–23.

Bakhmutov V.G., Yevzerov V.Ya., Kolka V.V. Paleomagnetism and lithology of late Weichsel. deposits in Ust-Pjalka'speriglacial lake, south-east of the Kola Peninsula // Geologica Carpatica. 1993. V. 44. ‹ 5. p. 315–324.

Bakhmutov V., Kolka V., Yevzerov V. Lithology and paleomagnetic record of Late Weichselian varved clays from NW Russia // Geological Quarterly. 2006. V. 50. 3. P. 353–368.

Bouma A.N. Sedimentology of some flysch deposits. Amsterdam: Elsevier Publishing Co. 1962. 168 p.

De Geer G. A Geochronology of the last 12000 years. Compt. Rendu du XI-e Congres Geologique International. Stockholm, Rendu du XI-e Congres Geologique International. Stockholm. 1912. p. 241–253.

Kuenen PH.H. Mechanics of varve formation and the actionof turbidity currents // Geol. Fören. Stock. Förhand. 1951. V. 73. ‹ 1. K». P. 69–84.

Literature

Kolka V.V. Some aspects of the formation of ribbon clays in the northeast of the Baltic Shield RGS, 2004, v. 136, issue 5, pp. 69–78. (In Russian).

Lavrushin Yu.A. Structure and development of ground moraines of continental glaciations. Moscow: Nauka, 1976. 237 p. (Transactions of the Geological Institute AS USSR; Vol. 288). (In Russian).

Lavrushin Yu.A. THE BASICS OF THE MODERN CONCEPT OF THE STUDY MORPHOLOGYAND FORMATION OF MARGINAL DEPOSITS OF PLEISTOCENE GLACIERS // Bulletin of the Commission for the Study of Quaternary. N 79, 2002. P. 38–70. (In Russian).

Markov K.K. Study of ribbon clays from a geochronological point of view // Nature, 1927, No 9. P. 679–696. (In Russian).

Shantser E.V., Lavrushin Yu.A. The most important patterns of the structure and formation of the main moraines of continental glaciations // Main moraines of continental glaciations. M. Geological Institute of the Russian Academy of Sciences, Commission for the Study of the Quaternary Period, 1978, pp. 27–42. (In Russian).

Yu.A. Lavrushin

GLACIODYNAMIC MODEL OF POSTSEDIMENTATIONAL APPEARANCE OF RIBBONED STRUCTURE IN SEDIMENTS OF QUATERNARY WATER BASINS IN THE VICINITY OF SAINT PETERSBURG

The article describes the basis of the developed glaciodynamic model of the emergence of a ribboned structure in the sediments of the sea and lake basins in the area of marginal formations of cover glaciation in the vicinity of St. Petersburg, Russia. The ribboned structure is represented in sediments by interlayering of dark and light ribbons. The leading role in the process of formation of the ribboned structure in the sediments formed by: a) glaciodynamic stresses that arose during layer-by-layer plastic flow of ice, and b) glaciodynamic kinematics of fault-sliding of the ice sheet edge. Lithoindicators of these processes were found in the structure of the ice thickness in flow glaciers, basal moraines, large outliers, as well as in frozen subglacial deposits. In the marine sediments body, lithoindicators of the decline in glaciodynamic stresses are represented by a system of subparallel shear strain. The kinematics of the shift of the edge of the ice sheet was reflected in the emergence of a facies of expanded (flared) sediments adjacent to the base of the glacier («iron sliding effect»). The transformations took place in high pressure conditions, with frictional heat and significant intralayers compression and tension processes. The features of the formation of dark and light ribbons are explained. Initially, dark ribbons formed. Light ribbons are the result of the transformation of dark ribbons. During the glaciodynamic stresses, the light ribbons represented flowing mud flows, which, when they subsided, turned into layers of corresponding sediments. The appearance of a ribbon structure in the sediments is because of different types of glaciodynamics and is a post-sedimentation process. It is proposed to identify a special group of sediments transformed by glaciodynamics and call them glaciodynamomites.

БЮЛЛЕТЕНЬ КОМИССИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ЧЕТВЕРТИЧНОГО ПЕРИОДА
№ 81, 2023 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Друщиц В.А. ГАЗОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КВАРТЕРА НА КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ ОКРАИНАХ 5

Наугольных С.В. ВЕРХНЕПЛЕЙСТОЦЕНОВАЯ ПАЛЕОПОЧВА (FPS-Gn) РАЗРЕЗА «ГЕНЕРАЛ» (РАМЕНСКИЙ РАЙОН МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ): СТРАТИГРАФИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ И МОРФОЛОГИЯ 28

Лаврушин Ю.А. ГЛЯЦИОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОСТСЕДИМЕНТАЦИОННОГО ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЛЕНТОЧНОЙ СТРУКТУРЫ В ОТЛОЖЕНИЯХ ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ВОДНЫХ БАССЕЙНОВ В ОКРЕСТНОСТЯХ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА 39

CONTENTS

Drouchits V.A. QUATERNARY GAS FIELDS ON CJNTINENTAL MARGINS 5

Naugolnykh S.V. UPPER PLEISTOCENE PALEOSOL (FPS-GN) OF THE “GENERAL” SECTION (RAMENSKOE DISTRICT OF THE MOSCOW REGION): STRATIGRAPHIC POSITION AND MORPHOLOGY 28

Lavrushin Yu.A. GLACIODYNAMIC MODEL OF POSTSEDIMENTATIONAL APPEARANCE OF RIBBONED STRUCTURE IN SEDIMENTS OF QUATERNARY WATER BASINS IN THE VICINITY OF SAINT PETERSBURG 39

Научное издание

БЮЛЛЕТЕНЬ КОМИССИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ЧЕТВЕРТИЧНОГО ПЕРИОДА

№ 81

ООО “Издательство ГЕОС”
129315, Москва, 1-й Амбулаторный пр-д, 7/3-114.
Тел./факс: (495) 959-35-16, (499) 152-19-14, 8-926-222-30-91.
E-mail: geos-books@yandex.ru, www.geos-books.ru

Подписано к печати 28.12.2023
Формат 60×90 1/8. Бумага офсетная. Печать
офсетная. Уч.-изд. л. 8,0. Тираж 100 экз.

Отпечатано в полном соответствии с представленным электронным оригинал-макетом
в ОАО “Альянс “Югполиграфиздат”, ООО ИПК “Панорама”.
400001, г. Волгоград, ул. КИМ, 6